



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 199 48 556 A 1**

51 Int. Cl. 7:  
**G 01 S 5/08**  
H 04 B 7/26  
H 04 Q 7/34  
G 06 F 17/17  
H 03 H 21/00  
// H 04 Q 7/38

21 Aktenzeichen: 199 48 556.9  
22 Anmeldetag: 8. 10. 1999  
43 Offenlegungstag: 29. 6. 2000

30 Unionspriorität:  
169916 09. 10. 1998 US  
169852 09. 10. 1998 US  
169730 09. 10. 1998 US  
169960 09. 10. 1998 US

71 Anmelder:  
Cell-Loc Inc., Calgary Alberta, CA

74 Vertreter:  
Patentanwälte Reinhardt-Söllner-Ganahl, 85551  
Kirchheim

72 Erfinder:  
Fattouche, Michel, Calgary, Alberta, CA; Klukas,  
Richard, Calgary, Alberta, CA; Oler, Kevin, Calgary,  
Alberta, CA

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren und Vorrichtungen zum Orten eines Mobilempfängers mittels Abwärtsstreckensignalen

57 Die Erfindung besteht aus Verfahren und Vorrichtungen zum Schätzen der Position und Geschwindigkeit eines Mobilempfängers (MR) unter Verwendung von entweder der Eintreffzeit (TOA) von Signalen, die vom MR empfangen werden, ihrer Eintreffphase (POA), ihrer Eintreffstärke (SOA), ihrer Eintrefffrequenz (FOA) oder einer Kombination daraus, mit Bezug auf eine Referenz, welche von einem Referenzempfänger (RR) an einem bekannten Standort erzeugt wird. Um für die Koordinaten des MR zu lösen, bedient sich die Erfindung entweder hyperbolischer Multilateration aufgrund der Eintreffzeitdifferenz (TDOA) oder linearer Multiangulation aufgrund der Eintreffphasendifferenz (PDOA) oder beider. Um für die Geschwindigkeit des MR zu lösen, bedient sich das Patent FOA aufgrund der Eintrefffrequenzdifferenz (FDOA). Ein bedeutender Beitrag dieser Erfindung ist die Art, auf welche der MR verfügbare Signale für Ortungszwecke empfängt, verarbeitet und kombiniert. Ein anderer bedeutender Beitrag dieser Erfindung ist die Art, wie der RR verfügbare Signale für Referenzzwecke empfängt, verarbeitet und kombiniert. Noch ein bedeutender Beitrag der Erfindung ist die Anwendung von Superauflösungsmethoden (SR-Methoden) an sowohl MR und RR, um die Auflösung der geschätzten TOAs, POAs, SOAs oder FOAs zu erhöhen.

DE 199 48 556 A 1

Best Available Copy

5 Diese Erfindung betrifft das Orten und Verfolgen eines Mobilempfängers (MR) durch Verwendung eines Referenzempfängers (RR) an einem bekannten Standort.

## Hintergrund der Erfindung

10 Immer dann, wenn dem MR sowie dem RR eine Reihe von Signalen zum Empfang zur Verfügung stehen, ist es möglich, den MR zu orten. Beispiele für Funksignale, welche mit weltweiter Reichweite existieren, sind Satellitensignale, beispielsweise das Global Positioning System (GPS), Iridium, Globalstar usw. Beispiele für Funksignale, welche Konstruktionen, beispielsweise Gebäude, durchdringen können, sind zu Land stationierte Systeme wie unter anderem Mobiltelefonie, PCS, Paging und ESMR. Sowohl von Satelliten ausgehende Signale als auch von der Erde ausgehende Signale  
 15 können verwendet werden, um den MR durch Nutzung ihres Empfangs an sowohl dem MR als auch dem RR zu orten. In diesem Patent bezeichnen wir ein derartiges Ortungssystem als Drahtlosortungssystem (WLS) auf Handgerätebasis (oder Vorwärts-/Abwärtsstrecken-WLS) im Gegensatz zu einem WLS auf Netzbasis (oder Rückwärts-/Aufwärtsstrecken-WLS), welches einen Mobilsender (MT) durch Verwendung einer Mehrzahl von Empfängern, welche das vom MT ausgesandte Signal empfangen, ortet. Ein Vorteil eines WLS auf Netzbasis ist, daß es passiv sein kann (insofern, als es MR  
 20 ohne Modifizierung oder Ergänzung der Drahtlossendungen orten kann) und daß keine Modifikationen der Hardware oder des Betriebs des MT erforderlich sind, damit das WLS den MT orten kann. Andererseits weist ein WLS auf Handapparatbasis den Vorteil auf, daß es keine Modifizierung der bestehenden Netzinfrastruktur erfordert. Die Ortung beim WLS auf Handapparatbasis kann entweder am MR oder am RR oder an einem dritten Empfänger (TR) erfolgen. Wenn die Ortung am MR erfolgt, muß der RR die Referenzinformationen an den MR übertragen. Wenn die Ortung am RR erfolgt, muß der MR die Lageinformationen an den RR übertragen. Wenn die Ortung am TR erfolgt, müssen sowohl der  
 25 MR als auch der RR ihre entsprechenden Informationen an den TR übertragen.

Funksignale können einander beeinträchtigen, sofern keine Vielfachzugriffsmethoden verwendet werden. Bestehende Funksignale benutzen eine beliebige aus einer Reihe von Vielfachzugriffsmethoden, beispielsweise: Codemultiplex-Vielfachzugriff (CDMA), Zeitvielfachzugriff (TDMA) und Frequenzvielfachzugriff (FDMA). CDMA wird bei IS-95, der nordamerikanischen Norm für CDMA CTs, sowie bei GPS verwendet. FDMA wird bei AMPs, der nordamerikanischen Norm für analoge CTs, verwendet. TDMA wird bei IS-136, der nordamerikanischen Norm für TDMA CTs, und bei GSM, der europäischen Norm für TDMA CTs, verwendet. Ohne Verlust der Allgemeingültigkeit werden bei diesem Patent GPS-Signale als Beispiel für ein von Satelliten ausgehendes Funksignal und IS-95-Signale als Beispiel für ein von der Erde ausgehendes Funksignal verwendet. Diese Wahl schließt weder irgendeine andere Norm noch irgendeine Vielfachzugriffsmethode aus. In diesem Patent bezeichnen wir einen Sender als Basisstationssender (BST). Es ist wichtig  
 35 festzuhalten, daß bei diesem Patent kein RR erforderlich ist, wenn die BSTs auf dasselbe Referenzsignal referenziert sind.

Der Bedarf an drahtloser Ortung und Verfolgung von MRs ist im Wachsen begriffen. Einige der möglichen Dienste für die Ortung von MRs sind:

## 1. Verbesserte Notfallsdienste

40 In den letzten Jahren wurde die Entwicklung von Technologien zum Orten von Mobiltelefonen (CTs) mit zusehends größerem Nachdruck vorangetrieben. Die primäre treibende Kraft waren verbesserte 911 (E911) Dienste für Mobiltelefonteilnehmer. E911-Dienste liefern der 911-Vermittlungsperson Informationen wie die Rufnummer, Straßenadresse und den Namen des Hauptteilnehmers. Im Oktober 1996 veröffentlichte die FCC eine Entscheidung (CC-Gerichtsregister Nr. 94-102) mit Hinblick auf E911-Notrufsysteme und verdeutlichte dieses im Dezember 1997. In dem Dokument fordert die FCC, daß ein Anrufer, der die Nummer 911 von einem Mobilgerät aus anruft, ab Oktober 2001 mit einer horizontalen Genauigkeit von 125 Metern RMS (Effektivwert) geortet werden muß.

## 2. Verfolgen betrügerischer Anrufe

## 3. Verfolgen gestohlener Kraftfahrzeuge

55 Für gewöhnlich erfordert das Verfolgen gestohlener Kraftfahrzeuge das Anbringen einer HF-Markierung wie bei Bird, US-Patent Nr. 5,418,537, ausgegeben am 23. Mai 1995, wobei diese in jedem zu verfolgenden Kraftfahrzeug ständig eingeschaltet bleibt, und eine neue Infrastruktur für die BSs im gesamten gewünschten Servicebereich. Eine Alternative ist, entweder vorhandene CTs zu verwenden, um die bestehende Mobiltelefonreichweite und die weite Verfügbarkeit kostengünstiger CTs zu nutzen, oder GPS-Empfänger zu verwenden, um die Verfügbarkeit und Genauigkeit  
 60 von Satellitensignalen zu nutzen.

## 4. Flottenmanagement für Botendienste und Speditionsunternehmen

65 Auch das Verwalten einer Flotte erfordert das Anbringen einer HF-Markierung wie bei Song, US-Patent Nr. 5,208,756, ausgegeben am 4. Mai 1993, und Sheffer et al., US-Patent Nr. 5,218,367, ausgegeben am 8. Juni 1993. Anstattdessen können vorhandene CTs verwendet werden, um die bestehende Mobiltelefonreichweite und die weite Verfügbarkeit kostengünstiger CTs zu nutzen. Andererseits können GPS-Empfänger verwendet werden, um die Verfügbarkeit und Genauigkeit von Satellitensignalen zu nutzen.

Ohne Verlust der Allgemeingültigkeit werden wir im gesamten vorliegenden Dokument annehmen, daß es die Absicht des WLS auf Handapparatbasis ist, die horizontale Position des MR sowie seine horizontale Geschwindigkeit zu schätzen. Falls sowohl die vertikale als auch die horizontale Position eines MR geschätzt werden sollen, ist zusätzlich zur Mindestanzahl, die zum horizontalen Orten erforderlich ist, eine weitere unabhängige Messung erforderlich.

#### Beschreibung der Figuren

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden mit Bezugnahme auf die Figuren beispielhaft und ohne die Absicht, die Erfindung auf die offenbarten konkreten Ausführungsformen zu beschränken, beschrieben, wobei in den Figuren gleichartige Bezugszeichen gleichartige Elemente bezeichnen. Es zeigen:

**Fig. 1** das Aussenden eines Signals,  $s_i(t)$  (103), durch den i-ten BST (102) wobei  $\tau_{o,i}$  die Sendezeit (TOT) des Signals ist. Ein MR (101) empfängt das Signal gemeinsam mit anderen Signalen, welche von einer Reihe von BSTs übertragen werden.

Wenn der BST (102) einem auf IS-95 basierenden Sektor in einem BS entspricht, kann das Signal,  $s_i(t)$  (103), ein Pilotsignal, ein Synchronisierungssignal, ein Paging-Signal oder ein Vorwärtsverkehrssignal sein. Wenn  $s_i(t)$  ein Pilotsignal ist, besteht es aus einem Einzelcode, welcher alle 2 Sekunden genau 75 Mal wiederholt wird, mit einer Periode von 32,768 Chips. Der Pilotcode ist als die "Pilot-PN-Sequenz" oder der "Kurzcode" bekannt. Wenngleich bei IS-95 alle Sektoren denselben Kurzcode aussenden, wird der Pilot, welcher von jedem Sektor gesendet wird, um ein ganzzahliges Vielfaches von 64 Chips von jedweden anderen Pilotsignal zeitversetzt, welches absehbarerweise gleichzeitig von einem MR empfangen werden könnte. Da der Code eine Periode von 32,768 Chips aufweist und Piloten 64 Chips voneinander beabstandet sind, sind 512 eindeutige Pilotphasen möglich.

Wenn der BST (102) einem auf GPS basierenden Satelliten entspricht, kann das Signal,  $s_i(t)$  (103), entweder ein Groberfassungssignal (CA-Signal) oder ein Präzisionssignal sein. Ist  $s_i(t)$  ein CA-Signal, besteht es aus einem eindeutigen Gold-Code pro Satellit (d. h. bis zu 24 unterschiedlichen Codes), welcher genau 1000 Mal pro Sekunde wiederholt wird, mit einer Periode von 1023 Chips, mit BPSK-Zusatzmeldungen mit 50 Bit/Sekunde. Die Codes sind als "CA-Codes" bekannt.

Wenn der BST (102) einem auf AMPs basierenden Sektor oder einem auf IS-136/GSM basierenden Sektor in einem BS entspricht, kann das Signal,  $s_i(t)$  (103), ein Vorwärtssteuerungskanalsignal (FOCC-Signal) oder ein Vorwärtsfernsprechkanalsignal (FVC-Signal) sein. Ist  $s_i(t)$  ein FOCC-Signal, so besteht es aus Digitalfarbcodes (DCCs) mit Zusatzmeldungen, welche sich auf die Kanalnummern der Pagingkanäle beziehen. Jeder DCC besteht aus bekannten Daten, welche für ihren entsprechenden Betriebssektor eindeutig sind, durchsetzt mit Zusatzmeldungen.

Nach Fig. 1, zeigt Fig. 2 das Aussenden des Signals  $s_i(t)$  durch den i-ten BST (201) zur Zeit " $\tau_{o,i}$ " und dessen Empfang durch den MR (202) zur Eintreffzeit: " $\tau_i$ ", für  $i = 1, 2, 3$ .

Wenn der BST auf IS-95 oder GPS basiert, so ist die Zeit  $\tau_{o,i}$  die Zeit des Sendens einer bestimmten Pilot-PN-Sequenz, während  $\tau_i$  die Zeit des Empfangs einer derartigen PN-Sequenz ist. Basiert das BST auf AMPs, so ist die Zeit  $\tau_{o,i}$  die Zeit des Sendens einer bestimmten DCC-Sequenz, während  $\tau_i$  die Zeit des Empfangs einer derartigen Sequenz ist. Um für die horizontalen Koordinaten (x,y) des MR (202) zu lösen, hängt die Mindestzahl erforderlicher BSTs von der verwendeten Ortungstechnologie ab.

**Fig. 3** zeigt den Eintreffwinkel für mehrere Wellenfronten von BSTs an einem MR und nimmt an, daß sich der MR in bezug auf die Grundlinie zwischen den beiden BSTs weit von BST<sub>i</sub> und BST<sub>j</sub> entfernt befindet. Eine derartige Annahme setzt voraus, daß die übertragenen Wellenfronten eben sind, d. h.  $\gamma_i \approx \gamma_j \approx \gamma_{ij}$ , wobei:

- $\gamma_i$  der Eintreffwinkel (AOA) von Signal  $s_i(t)$  vom i-ten BST zum MR ist,
- $\gamma_j$  der AOA von Signal  $s_j(t)$  vom j-ten BST zum MR ist, und
- $\gamma_{ij}$  als jener Winkel definiert wird, welcher zwischen:
  1. der Linie, welche den i-ten BST mit dem j-ten BST verbindet (welche wir als Linie<sub>o,i,j</sub> bezeichnen); und
  2. der Linie, welche den MR (301) und den Mittelpunkt der Linie<sub>o,i,j</sub> zwischen den beiden BSTs verbindet, (welche wir als Linie<sub>o,i,j</sub> bezeichnen)
 im Uhrzeigersinn von Linie<sub>o,i,j</sub> nach Linien gebildet wird.

**Fig. 4** zeigt die Bewegungsrichtung (DOT) " $\phi$ " (401) in bezug auf Northing (im Uhrzeigersinn von Northing) und die Geschwindigkeit  $v$  (402) des MR (404) in bezug auf die BSTs (403). " $\phi$ " und  $v$  stellen die Geschwindigkeit  $\vec{v}$  des MR in bezug auf die BSTs (403) dar. Bei einem Zellsystem sind die BSTs stationär, was bei einem auf Satelliten basierenden System nicht der Fall ist.

Ohne Verlust der Allgemeingültigkeit zeigt **Fig. 5** die zweidimensionale (horizontalen) Positionsortskurve (501) für TDOA<sub>2,1</sub> welche als

$$\begin{aligned} \text{TDOA}_{2,1} &= (\tau_2 - \tau_{o,2}) - (\tau_1 - \tau_{o,1}) \\ &= \frac{1}{c} \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2} - \frac{1}{c} \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} \end{aligned} \quad (1)$$

definiert ist, wobei  $c$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist,  $(x_1, y_1, z_1)$  die Koordinaten der Antenne von BST<sub>1</sub> sind,  $(x_2, y_2, z_2)$  die Koordinaten der Antenne bei BST<sub>2</sub> sind und  $(x, y)$  die Koordinaten des MR (502) sind. Dies wird durch Verwendung von auf TDOA basierender hyperbolischer Multilateration erreicht (wie dargestellt bei Turin, G. L. et al., "A

Statistical Model of Urban Multipath Propagation," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Bd. VT-21, Nr. 1, Februar 1972, und wie dargestellt bei Smith, J. O. et al., "Closed-Form Least-Squares Source Location Estimation from Range-Difference Measurements," IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Bd. ASSP-35, Nr. 12, Dezember 1987).

Im Fall, bei dem die dreidimensionalen Koordinaten des MR erforderlich sind, müssen wir für  $(x,y,z)$  lösen, unter Verwendung von

$$\begin{aligned} \text{TDOA}_{2,1} &= (\tau_2 - \tau_{0,2}) - (\tau_1 - \tau_{0,1}) \\ &= \frac{1}{c} \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2} \\ &\quad - \frac{1}{c} \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} \end{aligned} \quad (2)$$

Ohne Verlust der Allgemeingültigkeit zeigt Fig. 6 die beiden einander schneidenden Positionsortskurven für die zweidimensionalen Koordinaten  $(x,y)$  des MR (603), welche auf  $\text{TDOA}_{2,1}$  (601) und  $\text{TDOA}_{3,1}$  (602) beruhen. Mit anderen Worten: es ist möglich für  $(x,y)$  als Kreuzung zwischen den beiden Trajektorien zu lösen, welche durch Verwendung von drei Eintreffzeiten (TOAs) erhalten werden (nach Wählen der richtigen Seite jeder Hyperbel). Um für  $(x,y,z)$  zu lösen, benötigen wir vier TOAs.

Fig. 7a zeigt die zweite Stufe des WLS, wobei das Signal,  $s_i(t)$ , vom MR (701) empfangen wird. Der MR (701) verarbeitet das empfangene Signal,  $r_i(t)$ , um seine eigenen Koordinaten  $(x,y)$ , seine eigene Geschwindigkeit  $v$  und seine eigene DOT  $\phi$  mit Hilfe eines an einem bekannten Standort angeordneten Referenzempfängers (RR) (702) zu schätzen. Es ist Aufgabe des RR, die Referenzinformationen in bezug auf die BSTs zu schätzen und diese zum MR (701) zu übertragen. Wir bezeichnen ein derartiges System als Option I.

Fig. 7b zeigt eine Alternative der zweiten Stufe des drahtlosen Ortungssystems, wobei das Signal,  $s_i(t)$ , vom MR (703) empfangen wird. Der MR verarbeitet das empfangene Signal,  $r_i(t)$ , und überträgt die Lageinformationen zum RR (704). Der RR schätzt seinerseits die Koordinaten  $(x,y)$  des MR, seine Geschwindigkeit  $v$  und DOT  $\phi$ , unter Zugrundelegung der Lageinformationen, die vom MR (703) ausgesendet werden, und unter Zugrundelegung der Referenzinformationen, die vom RR (704) geschätzt werden. Wir bezeichnen ein derartiges System als Option II.

Fig. 7c zeigt noch eine weitere Alternative der zweiten Stufe des drahtlosen Ortungssystems, wobei das Signal,  $s_i(t)$ , vom MR (705) empfangen wird. Der MR verarbeitet das empfangene Signal,  $r_i(t)$ , und sendet die Lageinformationen zu einem dritten Empfänger (TR) (706). Der RR (707) schätzt seinerseits die Referenzinformationen in bezug auf die BSTs und überträgt diese zu demselben dritten Empfänger (TR) (706). Der TR schätzt die Koordinaten  $(x,y)$  des MR, seine Geschwindigkeit  $v$  und DOT  $\phi$ , unter Zugrundelegung der Lageinformationen, welche vom MR (705) ausgesendet werden, und unter Zugrundelegung der Referenzinformationen, welche vom RR (707) ausgesendet werden. Wir bezeichnen ein derartiges System als Option III.

Fig. 8 zeigt die Beschreibung von Konstruktion I für den MR. Das empfangene HF-Signal  $r_i(t)$ , welches vom  $i$ -ten BST übertragen wird, wird zunächst durch ein HF-Bandpaßfilter (BPF) (802) gefiltert, durch einen HF-Verstärker (803) verstärkt, durch eine oder mehrere Zwischenfrequenzstufen (ZF-Stufen) (810) abwärtskonvertiert. Jede ZF-Stufe besteht aus einem Mischer (804) mit einer LO (808), welche durch Verwendung eines HF-Synthesizers (809) erzeugt wird, einem ZF-BPF (805) und einem ZF-Verstärker (806). Nach den ZF-Stufen wird das resultierende analoge ZF-Signal (807) mit ZF-Frequenz  $f_1$  durch ein Prealiasingfilter (811) gefiltert, durch einen A/D (812) abgetastet und durch Verwendung digitaler Filter (813) nochmals gefiltert, um ein digitales ZF-Signal (814) mit mittlerer Frequenz  $f_2$  zu erzeugen, wobei  $f_2 < f_1$ . Ein optioneller direkter Digitalwandler (DDC) (815) wird verwendet, um das digitale ZF-Signal (814) auf Basisband abwärts zu konvertieren. Das resultierende Signal wird daraufhin von einem digitalen Signalprozessor (DSP) (817) verarbeitet, um die Eintrefffrequenz (FOA) des empfangenen Signals,  $r_i(t)$ , zu schätzen. Eine Funktion der geschätzten FOA wird zu einem Direktdigitalsynthesizer (DDS) (819) rückgeführt, welcher den HF-Synthesizer (809) steuert. Der DSP (817) liefert auch ein Referenzsignal (820) an den DDS (819). Eine bevorzugte Quelle für das Referenzsignal (820) ist eine, welche allen BSTs gemein ist, beispielsweise ein GPS-Signal.

Fig. 9a, 9b, 9c und 9d zeigen ein Ablaufdiagramm für die Ortungsstrategie. Die Ortungsstrategie besteht aus einer Reihe von Algorithmen (Kleinstquadrate, Lage auf der konischen Achse (LOCA), Ebenenschnitt) und mehreren Entscheidungen. In Anbetracht eines Satzes von Beobachtungen gibt es 4 mögliche Resultate: zwei LS-Positionslösungen (908), zwei LOCA-Positionslösungen (909), eine LS-Positionslösung (923, 936) und keine Positionslösung (927).

Fig. 10 zeigt die bevorzugte Ausführungsform eines Algorithmus, mit welchem ein MR TOA-Schätzwerte von Mehrfach-IS-95-Pilotsignalen erhalten kann. Für jeden Piloten erfolgt eine Suche über mehrfache Verzögerungszeiten. Wird ein Pilot erfaßt, so wird er weiter beobachtet, um einen TOA-Schätzwert von verbesserter Genauigkeit zu erhalten.

Fig. 11 zeigt Korrelationswerte, welche eventuell beim Suchen nach einem bestimmten Piloten über mehrfache Verzögerungszeiten oder Verzögerungsoffsets erhalten werden.  $E_c/I_0$  ist das Verhältnis der durchschnittlichen Pilotchip-energie zur empfangenen Gesamtleistung. Ein höherer Wert für  $E_c/I_0$  zeigt eine größere Wahrscheinlichkeit des Eintreffens des Pilotsignals an einem bestimmten Verzögerungsoffset an. In dieser Figur werden die Verzögerungsoffsets in IS-95-Chips (ungefähr 0,814  $\mu s$ ) ausgedrückt. In dieser Figur zeigt die horizontale gestrichelte Linie eine Schwelle an (in diesem Fall -15 dB) zur Erfassung des Eintreffens des Piloten. Es wird davon ausgegangen, daß ein  $E_c/I_0$ -Wert, der größer als diese Schwelle ist, ein Eintreffen des Pilotsignals am MR zu jener bestimmten Verzögerungszeit anzeigt.

Fig. 12 zeigt eine mögliche Architektur für die Ausführungsform des MR als ein CDMA CT, welches verwendet werden kann, um den Algorithmus von Fig. 10 zu implementieren. Unter der Führung der Steuerung sucht der Sucher nach

Pilotsignalen an unterschiedlichen Verzögerungszeiten des empfangenen Signals des MR. Die Demodulatorfinger werden unterschiedlichen Pilotsignalen zugeordnet. Ist ein Demodulatorfinger einem Pilot zugeordnet, so wird dieser seine Zeiteinstellung nachführen, um den Pilot zu verfolgen, und so kann dieser Daten, welche synchron mit jenem Pilot übertragen werden, demodulieren. Diese Architektur wird im US-Patent Nummer 5,764,687, Mobile Demodulator Architecture for a Spread Spectrum Multiple Access Communications System, beschrieben.

### Begriffsbestimmungen

Die folgenden Begriffsbestimmungen haben Vorrang vor den Definitionen für dieselben Begriffe, welche in der offenen Literatur zu finden sind.

- Mobilempfänger (MR): ist eine Vorrichtung, welche ortsveränderlich oder feststehend sein kann, welche nur aus einem Empfänger oder aus sowohl einem Empfänger als auch einem Sender bestehen kann. Es kann sich dabei um ein gewöhnliches Mobiltelefon (CT), ein PCS-Telefon (Personalkommunikationssystem-Telefon), ein Schnurlostelefon, einen Personal Digital Assistant (PDA), einen GPS-Empfänger oder eine Kombination daraus handeln. Es kann eine Funkmarkierung oder ein drahtloses Telefon sein, welches nicht den Audio-Abschnitt des Telefons enthält. Es kann auch ein Sender sein, welcher periodisch über einen bestimmten Kanal sendet, oder ein Empfänger, welcher Funksignale empfängt, oder beides.
- Referenzempfänger (RR): ist eine Vorrichtung an einem in bezug auf den Standort von BSTs, welche Funksignale aussenden, die von sowohl MR als auch RR empfangen werden sollen, bekannten Standort. Ein RR kann ortsveränderlich oder feststehend sein. Er kann nur aus einem Empfänger oder aus sowohl einem Empfänger als auch einem Sender bestehen. Der RR schätzt die TOA, POA, SOA und/oder FOA von Signalen, welche von den BSTs übertragen werden. Entweder überträgt er die Referenzinformationen zum MR oder zum TR oder er empfängt die Lageinformationen vom MR. In manchen eindeutigen Situationen, wenn die BSTs auf ein gemeinsames Signal referenziert werden, ist der RR nicht erforderlich.
- Referenzinformationen: sind die geschätzten TOA, POA, SOA und/oder FOA der Signale, welche von einer Reihe von BSTs am RR gesendet werden, sowie die Lage derartiger BSTs.
- Lageinformationen: ist die geschätzte TOA, POA, SOA und/oder FOA der Signale, welche von einer Reihe von BSTs am MR gesendet werden.
- Dritter Empfänger (TR): ist eine Vorrichtung, welche Lageinformationen vom MR sowie Referenzinformationen vom RR empfängt, um die Lage des MR zu schätzen. Sie kann nur ein Empfänger oder ein Sender und ein Empfänger sein. Die mobile Schaltzentrale (MSC) kann die Rolle des TR erfüllen.
- Basisstationssender (BST): ist eine Vorrichtung, deren Standort in bezug auf andere BSTs zu einem bestimmten Zeitpunkt bekannt ist. Ein BST kann ortsveränderlich oder feststehend sein. Er kann nur aus einem Sender oder aus sowohl einem Empfänger als auch einem Sender bestehen. Er kann eine gewöhnliche Zellenbasisstation (BS), ein gewöhnlicher Satelliten-Transceiver, ein GPS-Satellit, ein Loran-C-Sender, ein dedizierter Sender, ein Transponder oder jede beliebige andere Art von Sender-/Transceiver-Kombination sein.
- Host: ist ein Prozessor, welcher die Lageinformationen gemeinsam mit den Referenzinformationen verarbeitet, um die Lage des MR zu schätzen. Die Funktion des Host kann vom MR, vom RR oder von einem TR ausgeführt werden. Der Host kann auch für Ortungsdienste, beispielsweise für Flottenmanagement, standortabhängige Verrechnung usw., zuständig sein.
- WLS auf Netzbasis (Vorwärts-/Abwärtsstrecken-WLS): ortet einen Mobilempfänger (MR) durch Verwendung einer Mehrzahl von BSTs, welche Signale aussenden, die sowohl vom MR als auch vom RR empfangen werden.
- WLS auf Handaparatbasis (Rückwärts-/Aufwärtsstrecken-WLS): ortet einen Mobilsender (MT) durch Verwendung einer Mehrzahl von Empfängern, welche das Signal, das vom MT ausgesandt wird, empfangen.
- Zelle: ist ein geographischer Bereich, der von einer Zellenbasisstation (BS) versorgt wird.
- Sektorisierte Zelle: ist eine Zelle, welche aus mehreren einander nicht überlappenden Sektoren besteht. Jeder Sektor kann als eine unabhängige Zelle betrachtet werden, welche von einer eigenen Zellen-BS versorgt wird. Sektoren in einer Zelle werden jedoch für gewöhnlich von derselben Zellen-BS versorgt, um Kosten und Komplexität zu minimieren. Wir bezeichnen eine derartige BS als sektorisierte BS.
- Pilotkanal: ist der Kanal, welcher von jedem Sektor zu verwenden ist, um ein (örtlich eindeutiges) Pilotsignal zu übertragen.
- Pilotsignal: wird als eine dem MR bekannte Sequenz definiert.
  - Wie in der IS-95-Norm definiert wird, ist diese Sequenz ein Code, welcher alle 2 Sekunden genau 75 Mal wiederholt wird, und als "Pilot-PN-Sequenz" oder "Kurzcode" bekannt. Wenngleich alle Sektoren dasselbe Pilotsignal übertragen, weisen die Übertragungen von jeder Basisstation eine unterschiedliche Synchronisation oder Phasen auf, welche die Pilotsignale unterscheiden. Phaseninkremente werden als Vielfache von 64 Chips angegeben, wobei 1 Chip  $1/1,2288$  Microsekunden entspricht. Der Versatz in Einheiten von 64 Chips wird als Pilot-PN-Versatz bezeichnet. Pilotinkremente in einem Netz betragen für gewöhnlich 3 oder 4 PN-Versätze. APN-Versatz von 4 entspricht 256 Chips oder 208,3 Mikrosekunden.
  - Wie in der AMPs-Norm oder in der IS-136/GSM-Norm definiert ist, ist diese Sequenz ein Digitalfarbcode (DCC), welcher in bestimmten Zeitabständen wiederholt wird.
- Superauflösungsalgorithmus (SR-Algorithmus): ist eine Operation, welche ein Zeitdomänensignal,  $s(t)$ , in ein Frequenzdomänensignal,  $S(f)$ , umwandelt, derart, daß das Frequenzdomänensignal,  $S(f)$ , eine bessere Auflösung als die Auflösung, welche durch die Fourier-Transformation  $F\{s(t)\}$  geboten wird, von  $s(t)$  aufweist. Umgekehrt wandelt ein SR-Algorithmus ein Frequenzdomänensignal,  $S(f)$ , in ein Zeitdomänensignal,  $s(t)$ , mit einer besseren Auflösung als jener Auflösung, welche von der umgekehrten Fourier-Transformation geboten wird, d. h.  $s(t)$  weist eine bessere Auflösung als die umgekehrte Fouriertransformation  $F^{-1}\{S(f)\}$ , von  $S(f)$  auf. Beispiele für SR-Algorith-

men sind in der Literatur bestens bekannt und umfassen:

- MUSIC/ Wurzel MUSIC,
- ESPRIT,
- autoregressiver gleitender Durchschnitt,
- Minimalvarianz,
- MUSIC unter Verwendung höherrangiger Statistik,
- ESPRIT unter Verwendung höherrangiger Statistik,
- autoregressiver gleitender Durchschnitt unter Verwendung höherrangiger Statistik oder
- Minimalvarianz unter Verwendung höherrangiger Statistik.
- Frequenzdomänen-Rayleigh-Auflösung: ist die Frequenzdomänenauflösung, welche von der Fourier-Transformation angeboten wird.
- Zeitdomänen-Rayleigh-Auflösung: ist die Zeitdomänenauflösung, welche von der inversen Fourier-Transformation angeboten wird.
- Inverser SR-Algorithmus: ist ein Algorithmus, welcher ein Zeitdomänensignal verarbeitet, um seine Zeitdomänenauflösung relativ zur herkömmlichen Zeitdomänen-Rayleigh-Auflösung zu verbessern. Eine bevorzugte Ausführungsform des inversen SR-Algorithmus umfaßt
  - einen herkömmlichen Zeitdomänenkorrelator,
  - ein Zeitdomänenfenster,
  - eine Fourier-Transformation,
  - ein Frequenzdomänenfenster,
  - einen Frequenzdomänenequalizer und
  - einen Prozessor, welcher einen SR-Algorithmus ausführt, um die TOAs im empfangenen Signal an einem bestimmten MR aufzulösen.
- Alternativ dazu kann ein inverser SR-Algorithmus ein Frequenzdomänensignal verarbeiten, um dessen Frequenzdomänenauflösung relativ zur herkömmlichen Frequenzdomänen-Rayleigh-Auflösung zu verbessern. Diesfalls umfaßt eine bevorzugte Ausführungsform des inversen SR-Algorithmus
  - einen Frequenzdomänenkorrelator,
  - ein Frequenzdomänenfenster,
  - eine inverse Fourier-Transformation,
  - ein Zeitdomänenfenster,
  - einen Zeitdomänenequalizer und
  - einen Prozessor, der einen SR-Algorithmus ausführt, um die FOAs im empfangenen Signal an einem bestimmten MR aufzulösen.
- Sektorantennen: sind Zellen-Antennen, welche in einigen BS, die mehr als einen Sektor abdecken, vorliegen. Jeder Sektor weist eine dedizierte Antenne (oder einen Satz von Antennen, falls Diversität angewendet wird) auf.
- Filter auf Fourier-Transformations-Basis: sind Filter, welche:
  1. das Zeitdomänensignal Fourier-transformieren, danach
  2. das transformierte Signal über ein bestimmtes Band "fenstern" und
  3. das "gefensterte" Signal einer inversen Fourier-Transformation unterziehen.

#### Beschreibung eines Pilotsignale empfangenden IS-95 CT

Das CT mißt die Qualität empfangener Pilotsignale durch Berechnen des Verhältnisses zwischen der empfangenen Energie eines Piloten ( $E_p$ ) zur gesamten durch das Mobilgerät empfangenen Leistung ( $I_0$ ). Diese Messung wird als  $E_p/I_0$  des Piloten bezeichnet. Diese Messung steht in engem Zusammenhang mit der Signalstärke des Piloten. Ein IS-95 CT bedient sich der  $E_p/I_0$ -Messung eines Piloten, um die Eignung der Kommunikationsverbindung zwischen sich selbst (dem CT) und jenem bestimmten Sektor in einem BS zu schätzen. Wenn sich beispielsweise ein CT in einem Modus befindet, in welchem es stets nur mit einem Sektor auf einmal kommunizieren kann, kann es beschließen, mit jenem Sektor zu kommunizieren, der das höchste vom CT gemessene  $E_p/I_0$  aufweist.

Ein IS-95 CT kann ein Sucherelement und mehrere Demodulatorfinger aufweisen, wie aus Fig. 12 hervorgeht. Ein Sucher wird verwendet, um durch Messen des  $E_p/I_0$  eines Pilotsignals zu verschiedenen Verzögerungen nach Pilotsignalen zu suchen. Ein Demodulatorfinger verfolgt ein Pilotsignal und kann ein Informationssignal, welches mit dem Pilotsignal verbunden ist, demodulieren.

Zusätzlich zum Übertragen eines Pilotsignals kann eine Basisstation auch ein oder mehrere Informationssignale, welche mit dem Pilot verbunden sind, übertragen. Diese informationstragenden Signale werden mit derselben Hochfrequenz übertragen wie deren zugeordnetes Pilotsignal und werden mit dem Pilotsignal synchronisiert. Somit wird ein Informationssignal Ausbreitungseffekten (Dämpfung, Phasenverschiebung, Zeitverzögerungen, Mehrwegführung, Frequenzverschiebung) unterzogen, welche jenen seines zugeordneten Pilotsignals nahezu gleichen. Ein Mobilgerät verfolgt dann die Ausbreitungseffekte eines Piloten, um das Demodulieren von Informationen aus einem zugeordneten Signal oder Codekanal zu unterstützen. Ebenso kann das Mobilgerät die Zuverlässigkeit von Informationen, die aus einem Codekanal demoduliert werden, aufbauend auf der  $E_p/I_0$ -Qualitätsmessung des zugeordneten Pilotsignals schätzen.

Im allgemeinen sucht ein CT nach Pilotsignalen unter Verwendung eines oder mehrerer Sucher und ordnet dann ausgehend von den Sucherergebnissen Demodulatorfinger zu, um Informationen aus Codekanälen, die mit geeigneten Piloten verbunden sind, zu demodulieren. Dieser Vorgang ist ein kontinuierlicher, damit sich die Fingerzuordnung an die sich ändernden Bedingungen, welche für eine CT-Zellenumgebung typisch sind, anpaßt.

Während des Normalbetriebs werden die Sucher und Demodulatorfinger in einem IS-95 CT für gewöhnlich gemäß Algorithmen zugeordnet, welche die Kommunikationsleistung des Telefons und des Gesamtnetzes optimieren. Diese Zu-

ordnungsalgorithmen schränken die Schätzleistung des CT-Standortes ein, da sie oftmals Pilotsignale außer Acht lassen, welche für die Schätzung des Standortes zweckdienlich sind. Wir bevorzugen es, das CT dazu zu zwingen, einen Zustand einzunehmen, der für die Ortung optimiert ist.

#### Aufgaben und Zusammenfassung der Erfindung

- Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Drahtlosortungssystem (WLS) auf Handapparatbasis vorgesehen, wodurch ein MR durch Verwendung von Signalen, welche sowohl vom MR als auch einem RR empfangen werden, geortet werden kann. Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung, die statischen und kinematischen Positions-  
informationen eines MR, welcher Signale empfängt, die von einer Reihe von BSTs ausgesendet werden, zu schät-  
zen. 10
- Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein System vorgesehen, welches eine Korrektur für die Fehlerquellen, welche die unterschiedlichen Ortungstechnologien für ein WLS auf Handapparatbasis beeinflussen, auf  
eindeutige und neuartige Weise realisiert.
- Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein System vorgesehen, welches für die Position des MR 15  
durch Verwendung von Kleinstquadrate löst, wobei Abschlußfehler und standardisierte Residuen verwendet werden, um die Beobachtungen zu markieren, welche eventuell einen Blunder aufweisen.
- Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein System vorgesehen, welches sich des Verfahrens nach  
Chaffee oder der Lage auf der konischen Achse (LOCA) bedient, um Lösungsbinärverzweigung zu erkennen.
- Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein System vorgesehen, das sich LOCA und/oder Ebenen-  
schnittes bedient, um eine Ausgangsposition für Kleinstquadrate vorzusehen. 20
- Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein System vorgesehen, das sich einzeln oder als Kombination  
TDOA-Beobachtungen, Hybrid-TDOA-Beobachtungen und AOA-Beobachtungen bedient, um den MR zu orten.
- Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein System vorgesehen, welches die AOA-Mehrdeutigkeit an  
einer Zellen-BS durch Verwendung der TDOA-Informationen von zwei entfernt gelegenen BSs oder des AOA von 25  
mehreren Sektoren an derselben Zellen-BS auflöst.
- Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein System vorgesehen, welches sich der Bereichsinformation  
en von zwei BSTs oder des AOA von mehreren Sektoren an derselben Zellular-Basisstation bedient, um die AOA-  
Mehrdeutigkeit an einem derartigen BST aufzulösen. 30

#### Aufgaben und Zusammenfassung der Erfindung

- Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Drahtlosortungssystem (WLS) auf Handapparatbasis vorgesehen, wobei ein MR durch Verwendung von Signalen, welche sowohl vom MR als auch einem RR empfangen werden, geortet werden kann. Insbesondere ist es eine Aufgabe dieser Erfindung, die statischen und kinematischen Positi-  
onsinformationen eines MR, welcher Signale empfängt, die von einer Reihe von BSTs ausgesendet werden, zu  
schätzen. 35
- Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die Verwendung der SR- und inversen SR-Algorithmen be-  
züglich der Korrelationsfunktion (welche durch Korrelieren der empfangenen Signale sowohl am MR als auch am  
RR mit einer reinen Version von sich selbst erhalten wird) vorgesehen, um: 40
  - die Korrelationsspitzen über die Rayleigh-Auflösung hinaus aufzulösen und
  - die Verwendung einer Schwelle beim Auswählen der Korrelationsspitze zu vermeiden.
- Es ist ebenfalls eine Aufgabe der Erfindung, die Liste von Signalen, welche für die Korrelation berücksichtigt wer-  
den, auch hier aufbauend auf dem Minimieren der HDOP, zu optimieren.
- Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein System und Verfahren zum Orten eines MR durch Schät-  
zen der Eintreffphase (POA) von vorhandenen oder generierten Tönen vorgesehen, welche in den empfangenen Si-  
gnalen enthalten sind. Die generierten Töne können durch Ausführen einer nichtlinearen Operation bezüglich der  
empfangenen Signale am MR erhalten werden. Die Phasen der vorhandenen oder generierten Töne können mittels  
SR-Algorithmen herausgelöst werden, um die Auswirkung von Mehrwegeführung durch Wählen des Tons, welcher  
dem zeitbezogen ersten Eintreffen entspricht, zu reduzieren. 50
- Noch ein weiterer Aspekt der Erfindung ist die Verwendung der geschätzten POA, um entweder die TOA der  
empfangenen Signale oder deren AOA durch Verwendung der Eintreffphasendifferenz (PDOA) zu schätzen.
- Noch ein weiterer Aspekt der Erfindung ist, die AOA-Mehrdeutigkeit an einer Zellen-BS durch Verwenden der  
TDOA-Informationen von zwei entfernt gelegenen BSs oder des AOA von mehreren Sektoren an demselben Zel-  
len-BS aufzulösen. 55
- Noch ein weiterer Aspekt der Erfindung ist die Verwendung der Bereichsinformationen von zwei BSTs oder des  
AOA von mehreren Sektoren an derselben Zellen-Basisstation, um die AOA-Mehrdeutigkeit an einem derartigen  
BST aufzulösen.

#### Aufgaben und Zusammenfassung der Erfindung

- Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Drahtlosortungssystem (WLS) auf Handapparatbasis vorgesehen, wodurch ein MR durch Verwendung von Signalen, welche sowohl vom MR als auch einem RR empfangen werden, geortet werden kann. Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung, die statischen und kinematischen Positions-  
informationen eines MR, welcher Signale empfängt, die von einer Reihe von BSTs ausgesendet werden, zu schät-  
zen. 60
- Es ist ebenso ein Aspekt der Erfindung, ein System vorzusehen, welches eine Korrektur für die Fehlerquellen,  
welche die unterschiedlichen Ortungstechnologien für ein WLS auf Handapparatbasis beeinflussen, auf eindeutige  
65

und neuartige Weise realisiert. Insbesondere wird vorgeschlagen, eine Korrektur für Frequenzfehler, Taktoffsets, Gesamtgruppenlaufzeiten, Mehrwegeführung und Interferenz durchzuführen.

- Noch ein anderer Aspekt der Erfindung ist, die Dopplerverschiebung (df) in jedem empfangenen Signal am MR zu schätzen, um die Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung (DOT) des MR unter Verwendung von der Eintrefffrequenzdifferenz (FDOA) zu schätzen. Dies gilt für Modifikationen: I und II.
- Noch ein anderer Aspekt der Erfindung ist, die Verwendung von RRs zu minimieren, um die Kosten und Komplexität eines WLS auf Handapparatbasis zu senken. Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Drahtlosortungssystem (WLS) auf Handapparatbasis herzustellen, wobei ein MR, ohne einen RR zu erfordern, geortet werden kann. Dies gilt für alle drei Modifikationen: 0, I und II.

#### Aufgaben und Zusammenfassung der Erfindung

- Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Drahtlosortungssystem (WLS) auf Handapparatbasis vorgesehen, wodurch ein MR durch Verwendung von Signalen, welche sowohl vom MR als auch einem RR empfangen werden, geortet werden kann. Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung, die statischen und kinematischen Positionsinformationen eines MR, welcher Signale empfängt, die von einer Reihe von BSTs ausgesendet werden, zu schätzen.
- Ein weiterer Beitrag dieser Erfindung ist die Weise, auf welche ein CT aufgefordert wird, als MR in einem WLS auf Handapparatbasis zu agieren, wobei ein Sender in einer Zellen-BS als ein BST betrachtet wird. Man sollte sich auch vor Augen halten, daß, damit ein CT als ein MR fungiert, eventuell ein gewisser Grad an CT-Modifizierung erforderlich ist. Da es weltweit eine große Anzahl bestehender CTs gibt, ist es wichtig, sich vor Augen zu halten, daß manche Grade der Modifikation des CT derzeit bestehende CTs eventuell ausschließen (was kein erwünschtes Resultat ist). Wir bemühen uns, den Grad der CT-Modifikation für ein gewünschtes WLS-Leistungsniveau zu senken. Drei Grade der CT-Modifikation wurde bei diesem Patent festgestellt:
  1. Modifikation 0, welche keine Modifikation des CT erfordert;
  2. Modifikation I, welche nur softwaremäßige Modifikation des bestehenden CT erfordert; und
  3. Modifikation II, welche sowohl software- als auch hardwaremäßige Modifikationen des bestehenden CT erfordert.

Es ist ein Aspekt der Erfindung, Modifikation 0, I und II gegenüber existierenden Verfahren zu verbessern.

- Ein Aspekt der Erfindung ist es, ein System vorzusehen, welches die Schwelle optimiert, die beim Wählen der Korrelationsspitze verwendet wird, und die Liste von Signalen zu optimieren, welche für die Korrelation in Betracht gezogen werden, für alle Modifikationen: 0, I und II. Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist es, sowohl die Schwelle als auch die Liste von Signalen, welche für die Korrelation in Betracht gezogen werden, auf der Grundlage des Minimierens der HDOP zu optimieren.
- Noch ein anderer Aspekt der Erfindung ist die Verwendung der SR- und inversen SR-Algorithmen in Bezug auf die Korrelationsfunktion (welche durch Korrelieren der empfangenen Signale an sowohl MR als auch RR mit einer reinen Version von ihnen selbst erhalten wird), um:
  - die Korrelationsspitzen jenseits der Rayleigh-Auflösung aufzulösen und
  - die Verwendung einer Schwelle beim Auswählen der Korrelationsspitze zu vermeiden.
- Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung wird ein System vorgesehen, welches die Liste von Signalen, welche für die Korrelation in Betracht gezogen werden, wiederum auf der Grundlage des Minimierens der HDOP optimiert. Dies gilt für Modifikationen: I und II.
- Noch ein anderer Aspekt der Erfindung ist ein System zum Orten eines MR durch Schätzen der Eintreffphase (POA) von vorhandenen oder generierten Tönen, die in den empfangenen Signalen enthalten sind. Die generierten Töne können durch Ausführen einer nichtlinearen Operation bezüglich der empfangenen Signalen am MR erhalten werden. Die Phasen der vorhandenen oder generierten Töne können durch Verwendung von SR-Algorithmen her- ausgelöst werden, um der Effekt der Mehrwegeführung durch Wählen des Tones zu reduzieren, welcher dem ersten Eintreffen in der Zeit entspricht. Dies gilt für Modifikationen: I und II.
- Noch ein anderer Aspekt der Erfindung ist die Verwendung der geschätzten POA, um entweder die TOA der empfangenen Signale oder ihren AOA durch Verwendung der Eintreffphasendifferenz (PDOA) zu schätzen. Dies gilt für Modifikationen: I und II.
- Noch ein anderer Aspekt der Erfindung ist das Vorsehen eines Systems, welches die Dopplerverschiebung (df) in jedem empfangenen Signal am MR schätzt, um die Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung (DOT) des MR unter Verwendung der Eintrefffrequenzdifferenz (FDOA) schätzt. Dies gilt für Modifikationen: I und II.
- Noch ein anderer Aspekt der Erfindung ist ein System, welches die Verwendung von RRs minimiert, um die Kosten und Komplexität eines WLS auf Handapparatbasis zu reduzieren. Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Drahtlosortungssystem (WLS) auf Handapparatbasis vorgesehen, wobei ein MR, ohne einen RR zu erfordern, geortet werden kann. Dies gilt für alle drei Modifikationen: 0, I und II.
- Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein System vorgesehen, welches die AOA-Mehrdeutigkeit an einer Zellen-BS durch Verwendung der TDOA-Informationen von zwei entfernt gelegenen BSs oder des AOA von mehreren Sektoren an derselben Zellen-BS auflöst.
- Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein System vorgesehen, welches die Bereichsinformationen von zwei BSTs oder den AOA von mehreren Sektoren an derselben Zellenbasisstation verwendet, um die AOA-Mehrdeutigkeit an einem derartigen BST aufzulösen.



## Theorie

In einem WLS beeinflussen viele Faktoren die Systemleistung:

1. HF-Abschattung und flacher Schwund,
2. Frequenzversatz (einschließlich LOs-Drift und Dopplerverschiebungen),
3. Taktfehler,
4. Zeitverzögerungen,
5. Rauschen,
6. Mehrwegeführung (selektiver Schwund),
7. Interferenz;
8. geographische Geometrie der BSTs relativ zum beabsichtigten MR.

Jeder Faktor beeinträchtigt die geschätzte Position des MR in Abhängigkeit von der Technologie, welche zum Herauslösen der unabhängigen Gleichungen, die zur Ortung erforderlich sind, verwendet wird.

## HF-Übertragung

Insbesondere kann das Tiefpaß(LP)-Äquivalenzsignal,  $\tilde{s}_i(t)$ , welches vom i-ten BST übertragen wird, modellhaft dargestellt werden als:

$$\tilde{s}_i(t) = e^{-j2\pi(f_c + \Delta f_i)\tau_{o,i}} e^{j(2\pi\Delta f_i t + \zeta_i)} p_i(t - \tau_{o,i}) \quad (3)$$

und das HF-Übertragungssignal,  $s_i(t)$ , (siehe Fig. 1) kann ausgedrückt werden als:

$$s_i(t) = \text{Re}\{e^{j2\pi f_c t} \tilde{s}_i(t)\} \quad (4)$$

wobei

- $\text{Re}\{.\}$  eine Realteiloperation bezeichnet;
- $f_c$  die Trägerfrequenz ist,
- $\Delta f_i$  der Frequenzversatz von  $f_c$  ist (für gewöhnlich dem MR nicht bekannt, da er vom BST abhängt; er ist vom RR zu schätzen),
- $\tau_{o,i}$  = Sendezeit von Signal  $p_i(t)$  (ebenfalls dem MR unbekannt),
- $\zeta_i$  die Phase der Frequenz  $f_c + \Delta f_i$  ist (ebenfalls dem MR unbekannt),
- $j = \sqrt{-1}$  und
- $p_i(t)$  ein bandbegrenztes Basisbandsignal ist, welches vom i-ten BST übertragen wird.

## HF-Empfang

Nun kann das LP-Äquivalenzsignal,  $\tilde{r}_i(t)$ , welches vom MR empfangen wird und  $\tilde{s}(t)$  entspricht, modellhaft dargestellt werden als:

$$\tilde{r}_i(t) = G_i R_i^{-n} e^{j(\theta_i + \zeta_i)} e^{j2\pi(\delta f_i + \Delta f_i)t} p_i(t - \tau_i + \tau_{o,i} - \Delta t_i) + w_i(t) + M P_i(t) + \tilde{I}_i(t) \quad (5)$$

und das HF-Empfangssignal,  $r_i(t)$ , (siehe Fig. 2) kann ausgedrückt werden als:

$$r_i(t) = \text{Re}\{e^{j2\pi f_c t} \tilde{r}_i(t)\} \quad (6)$$

wobei

- $\text{Re}\{.\}$  eine Realteiloperation bezeichnet;
  - $G_i$  die (reelle) Verstärkung aufgrund der Sende- und Empfangsantennen darstellt: vom i-ten BST zur MR-Antenne (d. h. eine Funktion der beiden Antennenmuster),
  - $R_i^{-n}$  die (reelle) Dämpfung aufgrund des Ausbreitungskanals darstellt,
- wobei
- $n$  eine reelle Zahl ist (für gewöhnlich zwischen 2 und 4), welche vom Kanal abhängt, und
  - $R_i$  der Bereich zwischen dem i-ten BST und dem MR ist,

$$\theta_i = \{-2\pi(f_c + \delta f_i + \Delta f_i)(\tau_i - \tau_{o,i} + \Delta t_i)\} \bmod 2\pi \quad (7)$$

die Phase des empfangenen HF-Signals am MR ist, wobei:

- $\delta f_i$  der Frequenzversatz infolge der Dopplerverschiebung relativ zum Ausbreitungskanal ist (eine Funktion der Geschwindigkeit,  $v$ , hinsichtlich der BSTs und der Bewegungsrichtung (DOT),  $\phi$ , in bezug auf Northing),
- $\tau_i$  = TOA eines Signals  $p_i(t - \tau_{o,i})$  (eine Funktion des Bereiches  $R_i$ ),

- $\Delta t_i$  die Gesamtgruppenlaufzeit durch den i-ten BST zur MR-Antenne (für gewöhnlich eine Funktion der Frequenz) ist,
- $w_i(t)$  das additive Gaußsche weiße Rauschen (AWGN, komplex) infolge thermischen Rauschens am MR darstellt (eine Funktion von Temperatur und Bandbreite),
- $MP_i(t)$  alle Mehrwegekomponenten (komplex) an der MR-Antenne darstellt (eine Funktion der Umgebung und der Höhenlage der Antennen), und
- $\tilde{I}_i(t)$  Tiefpaß-Äquivalenzinterferenz (sowohl vom Inband- als auch vom Außerbandtyp) am MR darstellt.

#### Gesamt-HF-Empfang

Bei IS-95 wird eine Reihe von Pilotsignalen, Synchronisierungssignalen, Pagingssignalen und Vorwärtsverkehrssignalen über dasselbe Frequenzband in der Vorwärtsstrecke gesendet. Bei GPS wird eine Reihe von Signalen von den Satelliten über dasselbe Frequenzband gesendet. Mit anderen Worten: in einem CDMA-System stellt  $\tilde{I}_i(t)$  alle CDMA-Signale ausschließlich  $\tilde{r}_i(t)$  dar.

#### Basisbandempfang

Mehrere ZF-Stufen abwärtskonvertieren das empfangene HF-Signal,  $r_i(t)$ , in ein analoges Basisbandsignal,  $\hat{r}_i(t)$ , was dem Ausführen der folgenden Operation gleichkommt:

$$\hat{r}_i(t) = \text{Re} \{ e^{j2\pi f_c t} \tilde{r}_i(t) e^{-j2\pi(f_c + \Delta f_o)t} e^{-j\zeta_o} \} = \text{Re} \{ \tilde{r}_i(t) e^{-j2\pi \Delta f_o t} e^{-j\zeta_o} \} \quad (8)$$

wobei

- $\Delta f_o$  der Frequenzfehler zwischen den lokalen Oszillatoren (LOs) im MR-Empfänger und der Trägerfrequenz  $f_c$  ist; und
- $\zeta_o$  die Trägerphase in den lokalen Oszillatoren (LOs) des MR ist.

Aus den Gleichungen (5), (6) und (8) kann man:

- " $\psi_i = \theta_i - \zeta_o + \zeta_i$ " als Eintreffphase (POA) des empfangenen Signals,  $\hat{r}_i(t)$ , vom i-ten BST am MR; und
- " $f_i = \delta f_i - \Delta f_o + \Delta f_i$ " als Eintrefffrequenz (FOA) des empfangenen Signals,  $\hat{r}_i(t)$ , vom i-ten BST am MR bezeichnen.

#### Digitaler Empfang

Schließlich wandelt ein Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler) das Basisbandsignal,  $\hat{r}(t)$ , in ein digitales Signal  $\tilde{r}(m)$ , was dem Ausführen der folgenden Operation gleichkommt:

$$\tilde{r}(m) = \hat{r}(t)|_{t=m\Delta T} + q(m) \quad (9)$$

wobei

- $\Delta T$  das Abtastintervall im MR ist;
- $m$  eine Ganzzahl ist; und
- $q(m)$  das Quantisierungsrauschen ist, welches von der Anzahl von Bits im A/D-Wandler abhängt.

#### Quellen von Lageinformationen in Gleichung (5)

Es gibt mehrere Informationsquellen, aus welchen eine unabhängige Gleichung aus Gleichung (5) extrahiert werden kann, welche die statische Lage des MR, d. h. die Koordinaten (x,y) des MR, betrifft:

1.  $R_i^{-n}$ ,
2.  $\psi_i$ , und
3.  $p_i(t - \tau_i + - \Delta t_i)$ .

Darüber hinaus gibt es eine Informationsquelle, aus welcher eine unabhängige Gleichung aus Gleichung (5) extrahiert werden kann, welche die kinematische Lage des MR, d. h. die Geschwindigkeit  $\vec{v}$ , betrifft, und zwar:

4.  $\dot{f}_i$ .

Beginnend mit den statischen Informationen haben wir:

1.  $R_i^{-n}$ 

Im statischen Fall kann die erste Quelle,  $R_i^{-n}$ , verwendet werden, um  $R_i$  zu schätzen. Allerdings ist  $R_i^{-n}$  aufgrund des Wesens des Funkkanals unzuverlässig, bei dem HF-Abschattung und flacher Schwund den Wert von "n" in " $R_i^{-n}$ " von 2 (für Sichtverbindung (LOS)) bis 4 (für eine städtische Umgebung, wie bei Hata, M., "Empirical Formula for Radio Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Bd. VT-29, Nr. 3, August 1980, gezeigt wird) oder sogar 6 in stark veränderten Umgebungen abweichen lassen. Somit kann, sofern nicht LOS zwischen dem MR und dem i-ten BST gewährleistet ist,  $R_i^{-n}$  nur eine Genauigkeit von einigen Kilometern für  $R_i$  bieten. Im Fall, in dem LOS gewährleistet ist (z. B. in einer flachen Umgebung, beispielsweise auf dem Meer oder über einem See), muß  $G_i$  dem i-ten BST bekannt sein und kann "n" als 2 gewählt werden.

2.  $\psi_i$ 

Die zweite Quelle, die POA

$$\psi_i = \{-2\pi(f_c + \delta f_i + \Delta f_i)(\tau_i - \tau_{o,i} + \Delta t_i) + \Delta \zeta_i\} \bmod 2\pi \quad (10)$$

kann verwendet werden, um die TOA,  $\tau_i$ , zu schätzen, wobei  $\Delta \zeta_i = \zeta_i - \zeta_o$ . Die POA,  $\psi_i$ , wird durch Gleichungen (10) und (11) auf den Bereich,  $R_i$ , zwischen dem i-ten BST und dem MR bezogen:

$$R_i = (\tau_i - \tau_{o,i})c \quad (11)$$

wobei c die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist.

Da die Sendezeit,  $\tau_{o,i}$ , in (11) dem MR nicht bekannt ist, kann diese entweder:

1. geschätzt und daraufhin der Schätzwert beim TOA-Orten verwendet werden oder
2. unter Verwendung von TDOA-Orten entfernt werden.

Sowohl TOA- als auch TDOA-Orten werden im Patent an späterer Stelle erläutert.

Beim TOA-Orten ist ein mögliches Verfahren,  $\tau_o$  zu schätzen, die Umlaufzeit (RTD) zwischen:

- der Übertragung vom MR zu einem aktiven BST und
- dem Empfang der Antwort des aktiven BST durch den MR

zu schätzen.

Diesfalls gilt,

$$2R_i = (2\tau_i - \tau_{MR})c \quad (12)$$

wobei  $\tau_{MR}$  die Sendezeit vom MR zum BST ist und  $2\tau_i$  die TOA der Antwort des BST an den MR ist. Ein Nachteil beim Schätzen der RTD aus Gleichung (12) ist, daß Gleichung (12) davon ausgeht, daß der BST in der Lage ist, eine Antwort an den MR zurück zu senden. Diese Annahme macht das WLS auf Handapparatabasis von der Funktionstüchtigkeit der BSTs abhängig. Dies läuft darauf hinaus, daß das WLS auf Handapparatabasis netzabhängig ist. Dennoch werden wir uns weiterhin eines derartigen Konzepts bedienen, um in der Lage zu sein, eine Lösung auf Handapparatabasis mit einer Lösung auf Netzbasis zu unterstützen.

Des weiteren ist beim TOA-Orten ein Nachteil des Verwendens  $\theta_i$  in Gleichung (10), um  $\tau_i$  zu schätzen, das Vorhandensein einer "Modulo  $2\pi$ "-Operation in (10), was darauf hinausläuft, daß es bei der TOA-Schätzung zu einer großen Ganzzahlmehrdeutigkeit kommen kann.

Beim TDOA-Orten ist ein Paar von TOAs,  $\tau_i$  und  $\tau_j$ , je unabhängiger Gleichung erforderlich. In diesem Fall ist der Grad an Mehrdeutigkeit eine Funktion der Grundlinie zwischen den beiden Sendeantennen, d. h. zwischen dem i-ten BST und dem j-ten BST, in bezug auf die Wellenlänge, welche der Frequenz:  $f_c + \delta f_i + \Delta f_i$  in (10) entspricht, wie aus Gleichung (13) hervorgeht:

$$\tau_i - \tau_j = (\tau_{o,i} - \tau_{o,j}) - \{(\psi_i - \psi_j) - (\Delta \zeta_i - \Delta \zeta_j) + 2\pi n\} / 2\pi f_c - (\Delta t_i - \Delta t_j) + \text{Zusatzterm} \quad (13)$$

wobei

- $\tau_i$  der TOA von  $r_i(t)$  am MR entspricht;
- $\tau_j$  der TOA von  $r_j(t)$  am MR entspricht;
- $\tau_{o,i}$  der TOT von  $p_i(t - \tau_{o,i})$  entspricht;
- $\tau_{o,j}$  der TOT von  $p_j(t - \tau_{o,j})$  entspricht;
- n die Ganzzahlmehrdeutigkeit ist; und
- der Zusatzterm in (13) auf das Vorhandensein von
  - $\Delta f_i$  in (10), welche vom Fehler in den LOs für die i-te BS relativ zu  $f_c$  abhängt; und auf
  - $\delta f_i$  in (10), welche von der Geschwindigkeit  $\vec{v}$  des MR und der  $f_c$  entsprechenden Wellenlänge  $\lambda$  abhängt, zurückzuführen ist.

Der Term  $(\tau_{o,i} - \tau_{o,j})$  ist dem MR bekannt und kann in Gleichung (13) eingebunden werden.

Bei den Normen IS-95 und J-STD-008 kann die CT-Frequenz,  $f_c + \Delta f_0$ , um bis zu 0,05 parts per million abweichen (d. h. um bis zu 95 Hz für eine 1900 MHz-Trägerfrequenz). Des weiteren kann bei der Mobiltelefonie in Nordamerika die Trägerfrequenz,  $f_c$ , Werte um 800 MHz (bei einer Wellenlänge  $\lambda$  von ungefähr 37,5 cm) oder Werte um 1,9 GHz (bei einer Wellenlänge  $\lambda$  von ungefähr 15,8 cm) annehmen. Dies hat zur Folge, daß für eine Geschwindigkeit von 100 km/h

5  $\delta f_i$ :

-75 Hz >  $\delta f_i$  > 75 Hz bei  $f_c = 800$  Mhz oder  
-150 Hz >  $\delta f_i$  > 150 Hz bei  $f_c = 1.9$  GHz entspricht.

#### Schlußfolgerung

10

1.  $f_c \gg \delta f_i$  und  $f_c \gg \Delta f_0$ , d. h. der Zusatzterm in (13) ist vernachlässigbar; und
2. der Grad an Mehrdeutigkeit in (13) kann potentiell groß sein, es sei denn, die Grundlinie zwischen den beiden Empfangsantennen ist klein in bezug auf die Wellenlänge,  $\lambda$ , welche der Frequenz,  $f_c$ , entspricht. Wir bezeichnen

15

eine derartige Lösung als Lösung I.

#### Lösung I

Wenn die Grundlinie,  $d_{i,j}$ , zwischen der Antenne am i-ten BST und der Antenne am j-ten BST von derselben Größenordnung ist wie die Wellenlänge,  $\lambda$ , ist es möglich, unter Verwendung von entweder TDOA oder PDOA eine Lösung zu generieren. Die TDOA-Lösung zwischen den beiden Antennen ist eine Hyperbel, während die PDOA-Lösung zwischen den beiden Antennen eine Linie ist. Beide Lösungen nähern sich der exakten Lösung an und treffen asymptotisch aufeinander, d. h. die PDOA-Linie und die TDOA-Hyperbel treffen im Unendlichen aufeinander.

25

#### Bemerkung

Von einem praktischen Gesichtspunkt aus kann die Grundlinie,  $d_{i,j}$ , nur dann von derselben Größenordnung wie  $\lambda$  sein, wenn die beiden Antennen zu unterschiedlichen Sektoren derselben Zellenbasisstation gehören.

Wir nehmen an, daß sich der MR in bezug auf  $d_{i,j}$  weit von beiden Antennen entfernt befindet. Eine derartige Annahme

30

bedeutet, daß:

1. die gesendete Wellenfront eben ist, d. h.  $\gamma_i \cong \gamma_j \cong \gamma_{i,j}$ , wobei:
  - $\gamma_i$  der Eintreffwinkel (AOA) von  $r_i(t)$  von der Antenne des i-ten BST zum MR ist,
  - $\gamma_j$  der AOA von  $r_j(t)$  von der Antenne des j-ten BST zum MR ist und
  - $\gamma_{i,j}$  als der Winkel definiert ist, welcher zwischen:
    - der Linie, welche die Antenne des i-ten BST mit der Antenne des j-ten BST verbindet (welche wird als Linie<sub>i,j</sub> bezeichnet); und
    - der Linie, welche den MR mit dem Mittelpunkt von Linie<sub>i,j</sub> zwischen den beiden Antennen (welche wird als Linie<sub>o,i,j</sub> bezeichnet) verbindet,
- im Uhrzeigersinn von Linie<sub>o,i,j</sub> nach Linie<sub>i,j</sub> gebildet wird.
2. die folgende Gleichung die Eintreffphasendifferenz (PDOA),  $(\psi_i - \psi_j)$  mit dem Winkel  $\gamma_{i,j}$  in Beziehung setzt:

$$\frac{2\pi d_{i,j}}{\lambda} \cos(\gamma_{i,j}) = (\psi_i - \psi_j) \bmod 2\pi \quad (14)$$

45

wobei:

- $\psi_i$  die Eintreffphase (POA) von  $r_i(t)$  am MR; und
- $\psi_j$  die POA von  $r_j(t)$  am MR ist.

50

Die Lösung für  $\gamma_{i,j}$  in (14) ist

$$\gamma_{i,j} = \pm \cos^{-1} \left\{ \frac{\lambda}{2\pi d_{i,j}} (\psi_i - \psi_j + 2\pi k) \right\} \quad (15)$$

55

wobei k in (15) eine Ganzzahl ist, welche die folgende Bedingung erfüllen muß:

$$-1 \leq \frac{\lambda}{d_{i,j}} \left\{ \frac{(\psi_i - \psi_j) \bmod 2\pi}{2\pi} + k \right\} \leq 1 \quad (16)$$

60

Wenn beispielsweise  $d_{i,j} = \lambda$ , erhalten wir die folgenden möglichen Lösungen für k:

65

when  $\frac{(\psi_i - \psi_j) \bmod 2\pi}{2\pi} = -1$ , we have  $k = 0, 1$  or  $2$ ;

when  $\frac{(\psi_i - \psi_j) \bmod 2\pi}{2\pi} = +1$ , we have  $k = 0, -1$  or  $-2$ ;

when  $\frac{(\psi_i - \psi_j) \bmod 2\pi}{2\pi} = -1/2$ , we have  $k = 0$  or  $1$ ; (17)

when  $\frac{(\psi_i - \psi_j) \bmod 2\pi}{2\pi} = +1/2$ , we have  $k = 0$  or  $-1$ ;

when  $\frac{(\psi_i - \psi_j) \bmod 2\pi}{2\pi} = 0$ , we have  $k = 0, 1$  or  $-1$ ;

Manche der Lösungen in (17) sind trivial. Wenn  $d_{ij}$  zusehends größer als  $\lambda$  wird, erhalten wir mehr nichttriviale Lösungen. Wenngleich das Erhalten von mehr als einer Lösung auf Mehrdeutigkeit schließen läßt, ist es möglich, die Mehrdeutigkeit durch Verwendung von Kleinstquadratmethoden wie an späterer Stelle erläutert aufzulösen.

Beim Verarbeiten von  $\psi_i$ , um entweder  $\tau_i$  oder  $\gamma_i$  zu schätzen, treffen wir auf folgende Fehlerquellen:

Die Auswirkung von Rauschen,  $w_i(t)$ , auf  $\gamma_i$

Wenn eine lineare Anordnung von Antennen verwendet wird, um den AOA eines HF-Signals, welches als ebene Wellenfront genähert wird, zu schätzen (d. h. unter Annahme einer entfernt gelegenen HF-Quelle), ist die Cramer-Rao-Schranke auf der Varianz,  $\text{var}(\hat{\gamma}_i)$ , des geschätzten AOA,  $\hat{\gamma}_i$ , gleich

$$\text{var}(\hat{\gamma}_i)|_{\text{Tone}} \geq \frac{12c^2}{\text{SNR}_i|_{\text{Tone}} \times 4\pi^2 \times M \times (M^2 - 1) \times d^2 \times \sin^2 \gamma_i \times f_m^2} \quad (18)$$

wobei

- $\text{var}(\hat{\gamma}_i)|_{\text{Tone}}$  die Varianz der Schätzung  $\hat{\gamma}_i$  des Trägers  $\gamma_i$ ,
- $\text{SNR}_i|_{\text{Tone}} = A_i^2/(2\sigma_n^2)$ ,
- $A_i$  die Amplitude des Tons ist,
- $\sigma_n^2$  die Rauschvarianz ist,
- $M$  die Anzahl von Elementen in der Antennenanordnung ist,
- $d$  der Abstand zwischen Antennenelementen ist,
- $f_m$  die Frequenz des Tons ist und
- $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist.

Gleichung (18) beruht auf der Übertragung eines Schmalbandtons von jedem Element der Anordnung mit derselben Phase. Wenn das gesendete Signal  $s_i(t)$  entweder ein Breitbandsignal (z. B. CDMA) ist oder  $s_i(t)$  eine eindeutige Frequenz  $f_m$  (z. B. FDMA) aufweist, gilt (18) nicht mehr direkt sondern kann nach einigen mathematischen Bereinigungen der empfangenen Signale unter Verwendung der vom RR geschätzten Referenzinformationen gültig gemacht werden.

Die Auswirkung von Rauschen,  $w_i(t)$  auf  $\psi_i$

Die Cramer-Rao-Schranke sieht eine Untergrenze der Varianz,  $\text{var}(\hat{\psi}_i)|_{\text{Tone}}$ , des Schätzwertes,  $\hat{\psi}_i$ , der Phase  $\psi_i$  für einen Ton mit Frequenz  $f_m$  infolge von AWGN vor:

$$\text{var}(\hat{R}_i)|_{\text{Tone}} = \left( \frac{\lambda}{2\pi} \right)^2 \text{var}(\hat{\psi}_i)|_{\text{Tone}} \geq \frac{c^2}{\text{SNR}_i|_{\text{Tone}} \times N_i \times 4\pi^2 f_m^2} \quad (19)$$

wobei

- $\text{var}(\hat{R}_i)|_{\text{Tone}}$  die Varianz des Schätzwertes,  $\hat{R}_i$  des Bereichs  $R_i$  ist,
- $\lambda$  die Wellenlänge des Tons ist,
- $f_m$  die Frequenz des Tons ist, welche  $\lambda$  entspricht (d. h.  $f_m = c/\lambda$ ),
- $\text{SNR}_i|_{\text{Tone}} = A_i^2/(2\sigma_n^2)$  wobei  $\text{SNR}_i$  der Rauschabstand am MR vom  $i$ -ten BST ist,
- $A_i$  die Amplitude des Tons am MR vom  $i$ -ten BST ist,
- $\sigma_n^2$  die Rauschvarianz ist,
- $N_i$  die Anzahl von Abtastungen ist (welche durch  $T_i = N_i/f_s$  in direktem Zusammenhang mit dem Beobachtungs-

intervall  $T_i$  steht, wobei  $f_s$  die Abtastfrequenz ist),  
 –  $c$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist.

Auch hier fußt Gleichung (19) auf der Übertragung eines Schmalbandtons von jedem Element der Anordnung mit derselben Phase. Wenn das übertragene Signal  $s_i(t)$  entweder ein Breitbandsignal (z. B. CDMA) ist oder  $s_i(t)$  eine eindeutige Frequenz  $f_m$  (e. g. FDMA) aufweist, gilt (19) nicht mehr direkt sondern kann nach einigen mathematischen Bereinigungen der empfangenen Signale unter Verwendung der vom RR geschätzten Referenzinformationen gültig gemacht werden.

#### Phasenversatz

Die Phase des Tons  $f_m$  ist um  $\Delta\zeta_i$  verschoben. Wenn  $\Delta\zeta_i$  eine Funktion der Frequenz  $f_m$  ist, muß er geschätzt werden, wobei andernfalls die Phase  $\psi_i$  verzerrt ist.

#### Zeitverzögerungen, $\Delta t_i$

Die Ausbreitungsverzögerung  $\tau_i$  wird durch  $\Delta t_i$  beeinflusst, welche die Systemverzögerung durch die Antenne, Kabel, Filter, Verstärker usw. darstellt. Auch hier muß  $\Delta t_i$ , wenn diese eine Funktion der Frequenz  $f_m$  ist, geschätzt werden, wobei andernfalls die Ausbreitungsverzögerung von einem empfangenen Signal zum anderen erheblich schwanken kann.

#### Mehrwegeführung, $MP_i(t)$

Bei TDOA entspricht die Mehrwegeführung  $MP_i(t)$  einer Zusatzverzögerung über den Ausbreitungskanal und muß entweder geschätzt und entfernt oder abgeschwächt werden. Im Fall, bei dem der Phasenschätzwert verwendet wird, um für den AOA des empfangenen Signals  $r_i(t)$  zu lösen, besteht die Auswirkung der Mehrwegeführung darin, den AOA von  $r_i(t)$  je nach dem AOA von  $MP_i(t)$  und dessen Größenordnung um ein gewisses Ausmaß zu verschieben.

#### Interferenz, $\tilde{I}_i(t)$

Je nach dem Interferenzgrad kann  $\tilde{I}_i(t)$  eine drastische Auswirkung auf die Genauigkeit der geschätzten Phase haben und das HF-Vorfeld des Empfängers sättigen. Ihre Auswirkungen können mit sowohl analoger als auch digitaler Hardware sowie mit geeigneter Software, unabhängig davon, ob es sich dabei um solche vom Inband- oder Außenbandtyp handelt, abgeschwächt werden.

Die praktische Beschreibung dieses Patents wird Verfahren und Vorrichtungen darlegen, um  $\theta_i$  zu schätzen und seine Fehlerquellen abzuschwächen.

$$3. p_i(t - \tau_i + \tau_{o,i} - \Delta t_i)$$

Die letzte (und häufigste) Informationsquelle, welche verwendet werden kann, um eine unabhängige Gleichung für den statischen Standort des MR herauszulösen, ist:

$$p_i(t - \tau_i + \tau_{o,i} - \Delta t_i) \quad (20)$$

welche verwendet werden kann, um entweder  $\tau_i$  oder  $\gamma_i$  zu schätzen:

- Wenn  $\tau_i$  direkt geschätzt wird, bezeichnen wir die Lösung als Lösung II. Diesfalls kann entweder TOA-Ortung oder TDOA-Ortung verwendet werden.
- Wenn  $\gamma_i$  aus  $\tau_i$  geschätzt wird, bezeichnen wir die Lösung als Lösung III. Diesfalls wird AOA-Ortung verwendet.
- Wenn  $\tau_i$  indirekt ausgehend von den Phasen von Tönen in  $p_i(t - \tau_i + \tau_{o,i} - \Delta t_i)$  geschätzt wird, bezeichnen wir die Lösung als Lösung IV. Auch hier kann entweder TOA-Ortung oder TDOA-Ortung, wie oben beschrieben wurde, verwendet werden.

#### Lösung II

Das häufigste Verfahren zum Schätzen von  $\tau_i$  besteht darin,  $p_i(t - \tau_i + \tau_{o,i} - \Delta t_i)$  mit  $p_i(t)$  zu kreuzkorrelieren, d. h.  $r(t)$  mit  $p_i(t)$  zu kreuzkorrelieren. Im allgemeinen ergeben sich aus einer derartigen Korrelation mehrere Spitzen, insbesondere beim Empfangen von Pilotsignalen in CDMA, wobei alle übertragenen Piloten ident sind, abgesehen von einer relativen Verzögerung zwischen Piloten. Diesfalls liegt die Spitze, welche  $\tau_i$  in  $p_i(t - \tau_i + \tau_{o,i} - \Delta t_i)$  entspricht, innerhalb einer zumutbaren Ausbreitungsverzögerung,  $\tau_i - \tau_{o,i}$ , in bezug auf einen Takt, der vom Signal abgeleitet wird, und kann von anderen Piloten unterschieden werden.

- Beim TOA-Orten muß die Sendezeit,  $\tau_{o,i}$ , von der Antenne des  $i$ -ten BST zum MR geschätzt werden, um  $\tau_i - \tau_{o,i}$  zu schätzen. Ein mögliches Verfahren ist, die RTD zwischen der MR-Übertragung und dem Empfang der BST-Antwort auf die MR-Übertragung am MR wie in Gleichung (12) dargestellt zu schätzen.
- Beim TDOA-Orten wird die Sendezeit,  $\tau_{o,i}$ , unter Verwendung einer zusätzlichen unabhängigen Gleichung geschätzt. Dies wird durch Schätzen von  $\tau_j$  bewerkstelligt. Wiederum ist das üblichste Verfahren zum Schätzen von  $\tau_j$ ,  $p_j(t - \tau_j + \tau_{o,j} - \Delta t_j)$  mit  $p_j(t)$  zu kreuzkorrelieren, d. h.  $r_j(t)$  mit  $p_j(t)$  zu kreuzkorrelieren. Bei CDMA liegt die resul-

tierende Korrelationsspitze, welche  $\tau_j$  in  $p_j(t - \tau_j + \tau_{o,j} - \Delta t_j)$  entspricht, innerhalb einer zumutbaren Ausbreitungsverzögerung,  $\tau_j - \tau_{o,j}$ , mit Hinblick auf einen Takt, der vom Signal abgeleitet wird. Die TDOA,  $\tau_i - \tau_j$ , kann verwendet werden, um die relative Verzögerung zu schätzen,  $(\tau_i - \tau_{o,i}) - (\tau_j - \tau_{o,j})$  da die relative TOT,  $\tau_{o,i} - \tau_{o,j}$ , zwischen dem i-ten Piloten und dem j-ten Piloten am MR bekannt ist.

5

## Lösung III

Um  $\gamma_{i,j}$  aus der TDOA-Lösung,  $\tau_i - \tau_j$ , zu schätzen, nehmen wir an, daß sich der MR sowohl von der Antenne am i-ten BSAT als auch von der Antenne am j-ten BST in bezug auf deren Grundlinie,  $d_{i,j}$ , weit entfernt befindet. Wie vorhin erwähnt wurde, bedeutet eine derartige Annahme in der Praxis, daß:

10

1. beide Antennen am selben BST existieren.
2. die empfangene Wellenfront eben ist, d. h.  $\gamma_i \cong \gamma_j \cong \gamma_{i,j}$ , wobei
  - $\gamma_i$  der Eintreffwinkel (AOA) von  $r_i(t)$  von der Antenne des i-ten BST zum MR ist,
  - $\gamma_j$  der AOA von  $r_j(t)$  von der Antenne vom j-ten BST zum MR ist und
  - $\gamma_{i,j}$  als der Winkel definiert ist, der zwischen:
    - der Linie, welche die Antenne des i-ten BST mit der Antenne des j-ten BST (welche wir als Linie <sub>$e_{i,j}$</sub> , bezeichnen) verbindet, und
    - der Linie, welche den MR mit dem Mittelpunkt der Linie <sub>$e_{i,j}$</sub> , zwischen den beiden Antennen (welche wir als Linie <sub>$o_{i,j}$</sub>  bezeichnen) verbindet,
3. Gleichung (21) setzt den Winkel  $\gamma_{i,j}$  mit der Eintreffzeitdifferenz (TDOA),  $\tau_i - \tau_j$ , in Relation wie folgt

15

20

$$\frac{d_{i,j}}{c} \cos(\gamma_{i,j}) = \tau_i - \tau_j \quad (21)$$

25

wobei

- $d_{i,j}$  der Abstand zwischen der Antenne am i-ten BST und der Antenne am j-ten BST ist; und
- $c$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist.

30

Der Vorteil beim Schätzen des AOA,  $\gamma_{i,j}$ , unter Verwendung von  $p_i(t - \tau_i + \tau_{o,i} - \Delta t_i)$  in Gleichung (20) aus Gleichung (22):

35

$$\gamma_{i,j} = \pm \cos^{-1} \left\{ \frac{c}{d_{i,j}} (\tau_i - \tau_j) \right\} \quad (22)$$

40

an Stelle der Verwendung von  $\psi_i$  in (10) aus Gleichung (23):

$$\gamma_{i,j} = \pm \cos^{-1} \left\{ \frac{\lambda}{2\pi d_{i,j}} (\psi_i - \psi_j + 2\pi k) \right\} \quad (23)$$

45

ist die Tatsache, daß in Gleichung (22) abgesehen vom  $\pm$  in der Lösung von  $\gamma_i$  keine Mehrdeutigkeiten vorkommen, während Gleichung (23) je nach dem Wert der Ganzzahl  $k$  eine Reihe von Mehrdeutigkeiten aufweisen kann.

Die Nachteile beim Schätzen des AOA,  $\gamma_{i,j}$ , unter Verwendung von  $p_i(t - \tau_i + \tau_{o,i} - \Delta t_i)$  in Gleichung (20) an Stelle der Verwendung von  $\psi_i$  in (10) sind:

50

1. eine kleine Grundlinie ist zwischen den beiden Antennen erforderlich; und
2. das Rauschen wirkt sich auf die Varianz,  $\text{var}(\hat{\tau}_i)_{|p_i(t)}$ , von  $\hat{\tau}_i$  erheblich stärker aus als auf die Varianz,  $\text{var}(\hat{\psi}_i)$ , von  $\hat{\psi}_i$ .

55

Der zweite Nachteil kann durch Vergleichen der Cramer-Rao-Schranke für  $\hat{\psi}_i$

$$\left( \frac{\lambda}{2\pi} \right)^2 \text{var}(\hat{\psi}_i) \Big|_{\text{Tone}} \geq \frac{c^2}{\text{SNR}_i|_{\text{Tone}} \times N_i \times 4\pi^2 f_m^2} \quad (24)$$

60

mit der CRLB für  $\hat{\tau}_i$ :

$$c^2 \text{var}(\hat{\tau}_i) \Big|_{p_i(t)} \geq \frac{c^2}{\text{SNR}_i|_{p_i(t)} \times 4\pi^2 BW^2} \quad (25)$$

65

erläutert werden.

Angenommen, daß  $\text{SNR}_{i|\text{Tone}} \times N_i$  in (24) gleich  $\text{SNR}_{i|p_i(t)}$  in (25) ist, dann ist die Differenz zwischen (24) und (25)  $f_m^2$  in (24) verglichen mit  $\text{BW}^2$  in (25). Bei AMPs ist BW ungefähr gleich 30 KHz, während  $f_m$  gleich der Trägerfrequenz  $f_c$  sein kann, welche gleich 800 MHz ist. Das Verhältnis zwischen den beiden Werten in dB beträgt 44,26. Bei IS-95 und J-STD-008 ist BW ungefähr gleich 1,23 MHz, während  $f_m$  gleich der Trägerfrequenz  $f_c$ , d. h. 800 MHz, sein kann. Das Verhältnis zwischen den beiden Werten in dB beträgt 28,13 dB. In beiden Fällen ist die Differenz groß. Dennoch ist  $p_i(t - \tau_i - \Delta t_i)$  in (20) für TDOA-Orten geeignet, während  $\psi_i$  in (10) für AOA-Orten geeignet ist, wie hier erläutert wird:

- Wenn wir  $\psi_i$  in (10) verwenden, um den AOA,  $\gamma_{i,j}$ , zu schätzen, erhalten wir eine Untergrenze von  $5 \times 10^{-5}$  radians<sup>2</sup> für SNR,  $\text{SNR}_{i|\text{Tone}} \times N_i$ , von 30 dB und für eine Entfernung,  $d$ , von einer Wellenlänge, d. h. 0,375 m. Dies entspricht dem Erhalten einer Standardabweichung für  $\gamma_{i,j}$  von  $7,07 \times 10^{-3}$  radians, was einem Bereichsfehler von 7,11 Meter für jeden Kilometerbereich zwischen dem MR und den Antennen entspricht.
- Andererseits ist  $p_i(t - \tau_i + \tau_{o,i} - \Delta t_i)$  in (20) für TDOA-Orten geeignet, da diesfalls die Grundlinie zwischen Antennen nicht klein sein muß. Wenn wir beispielsweise annehmen, daß SNR,  $\text{SNR}_{i|p_i(t)}$ , in Gleichung (25) 30 dB für AMPs beträgt, beträgt die Untergrenze auf der Varianz,  $\text{var}(\hat{R}_i)_{p_i(t)} = c^2 \text{var}(\hat{\tau}_i)_{p_i(t)}$ , des Bereichs  $R_i$  2553 Meter<sup>2</sup> oder weist äquivalent dazu  $R_i$  eine Standardabweichung von 50,53 Meter auf. Wenn wir andererseits annehmen, daß SNR,  $\text{SNR}_{i|p_i(t)}$ , in Gleichung (25) 10 dB für IS-95 beträgt, beträgt der Bereich  $R_i$  150,69 Meter<sup>2</sup> oder es weist äquivalent dazu  $R_i$  eine Standardabweichung von 12,28 Meter auf.

#### Lösung IV.

Wenn  $\tau_i$  indirekt ausgehend von den Phasen von Tönen in  $p_i(t - \tau_i + \tau_{o,i} - \Delta t_i)$  geschätzt wird, kann in der Lösung noch eine Ganzzahlmehrdedeutigkeit herrschen, es sei denn, die Wellenlänge der gewählten Töne ist mit Hinblick auf den Bereich zwischen dem MR und der Antenne am  $i$ -ten BST groß. Die gewählten Töne werden unten besprochen, wo eine Lösung für die Ganzzahlmehrdedeutigkeit dargelegt wird.

Beim Verarbeiten von  $p_i(t - \tau_i + \tau_{o,i} - \Delta t_i)$ , um  $\tau_i$  zu schätzen, stoßen wir auf die folgenden Fehlerquellen:

Rauschen,  $w_i(t)$

Die Cramer-Rao-Schranke sieht eine untere Grenze der Auswirkung von AWGN auf die Varianz,  $\text{var}(\hat{\tau}_i)_{p_i(t)}$ , des Schätzwertes der Verzögerung  $\tau_i$  vor:

$$\text{var}(\hat{R}_i)_{p_i(t)} = c^2 \text{var}(\hat{\tau}_i)_{p_i(t)} \geq \frac{c^2}{\text{SNR}_{i|p_i(t)} \times 4\pi^2 \text{BW}^2} \quad (26)$$

wobei

- $\text{var}(\hat{R}_i)_{p_i(t)}$  die Varianz des Schätzwertes,  $\hat{R}_i$ , des Bereiches  $R_i$ ,
- BW die Effektivwert-Bandbreite von  $p_i(t)$ ,
- $\text{SNR}_{i|p_i(t)} = 2E_i/N_o$ ,
- $E_i$  die Energie von  $r_i(t)$  ist,
- $N_o$  die Rauschleistungsspektraldichte ist und
- $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist.

#### Die Auswirkung der Bandbreite, BW

Gleichung (26) zeigt auf, daß die Bandbreite des Signals eine bedeutende Rolle bei der Genauigkeit des Drahtlosortungssystems spielt. Bei IS-95 weisen die Hochfrequenz(HF)-Kanäle eine Bandbreite von ungefähr 1,25 MHz auf, welche mit jener von Systemen vergleichbar ist, welche primär zum Orten konzipiert wurden, beispielsweise von Global Positioning Systemen (GPS) mit einer BW von 1 MHz über Kanäle von Standard Positioning Services (SPS) und Ortungssystemen auf ISM-Basis mit einer typischen Bandbreite von 10 MHz. Bei GPS kann das Ortungssystem zunächst einen herkömmlichen Gleitkorrelator benutzen, um einen Satz von Pseudobereichen zu erhalten (ein Pseudobereich je Satellit) (siehe z. B. Spilker, J. J., "GPS Signal Structure and Performance Characteristics," Global Positioning System, Volume 1, The Institute of Navigation, Washington D. C., 1980). Die Pseudobereiche werden daraufhin bei der Multilateration verwendet, um einen Positionsbestimmungswert des GPS-Empfängers zu erhalten. Eine typische Genauigkeit für einen handelsüblichen Einpunkt-GPS-Empfänger (d. h. kein differentieller Empfang) mit SPS beträgt rund 30 m RMS ohne selektive Verfügbarkeit (SA). In direkten Proportionen sollte ein auf der Erde stationiertes IS-95-Ortungssystem, welches sich zuerst eines herkömmlichen Gleitkorrelators bedient, um einen TOA-Schätzwert des ausgesendeten Funksignals zu erhalten, gefolgt von einer hyperbolischen (differentiellen) Multilateration aller TOA-Schätzwerte, eine Ortungsgenauigkeit bieten, die besser als 30 m RMS ist, unter der Annahme, daß keine Mehrwegeführung vorliegt. Der Grund dafür ist, daß die Korrelationsfunktion, aus welcher ein TOA geschätzt werden kann, eine Auflösung aufweist, welche auf jene der Fourier-Transformation beschränkt ist. Die herkömmliche Auflösungsgrenze bei Verfahren auf Fourier-Basis ist das Rayleigh-Auflösungskriterium, welches aus Haykin, S., "Adaptive Filter Theory," 2nd Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991, hervorgeht. Weiteres Verarbeiten unter Verwendung von SR- und inverser SR-Algorithmen erbringt oftmals ein Resultat mit einer höheren Auflösung, wie bei Dumont, L. R., et al., "Super-resolution of



Multipath Channels in a Spread Spectrum Location System," IEE Electronic Letters, Bd. 30, Nr. 19, S. 1583-1584, 15. September 1994, und bei Fattouche et al., US-Patent Nr. 5,570,305 ausgegeben im Okt. 1996, und bei Ziskind, I. et al., "Maximum Likelihood Localization of Multiple Sources by Alternating Projection," IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Bd. ASSP-36, Nr. 10, Oktober 1988, zu ersehen ist. Es wird vorgeschlagen, SR- und inverse SR-Algorithmen zu verwenden, um die Auflösung des WLS über die Rayleigh-Auflösung hinaus zu verbessern, im Gegensatz zu:

Dent, US-Patent Nr. 5,404,376, ausgegeben am 4. April 1995;

Dunn et al., US-Patent Nr. 5,600,706, ausgegeben am 4. Februar 1997; Khan et al., US-Patent Nr. 5,646,632, ausgegeben am 8. Juli 1997;

Ghosh et al., US-Patent Nr. 5,646,632, ausgegeben am 16. April 1996;

Krasner, US-Patent Nr. 5,663,734, ausgegeben am 2. Sept. 1997; und

Krasner, US-Patent Nr. 5,781,156, ausgegeben am 14. Juli 1998;

welche die Korrelationsspitze nicht weiterverarbeiten.

#### Die Auswirkung des Beobachtungsintervalls, $T_i$

Das Beobachtungsintervall,  $T_i$ , steht direkt mit der Energie  $E_i$  im empfangenen Signal  $r_i(t)$  am MR in Relation, da

$$E_i = \int_0^{T_i} |r_i(t)|^2 dt \quad (27)$$

Es steht auch mit dem stationären Ansprechen eines Filters in Relation, derart, daß das Ansprechen des Filters seinen stationären Zustand erreicht, solange

$$T_i \geq \frac{1}{BW_i} \quad (28)$$

wobei  $BW_i$  die Bandbreite des Filters ist, welches  $r_i(t)$  verarbeitet.

#### Zeitverzögerungen, $\Delta t_i$

Die Ausbreitungsverzögerung  $\tau_i$  wird durch  $\Delta t_i$  beeinflusst, welche die Systemverzögerung durch Antenne, Kabel, Filter, Verstärker usw. darstellt. Wenn sich  $\Delta t_i$  von einem BST zu einem anderen unabhängig vom RR ändert, muß sie geschätzt werden, wobei andernfalls die Ausbreitungsverzögerung von einem empfangenen Signal zu einem anderen erheblich schwanken kann.

#### Interferenz, $\tilde{I}_i(t)$

Je nach dem Interferenzgrad kann  $\tilde{I}_i(t)$  eine drastische Auswirkung auf die Genauigkeit der geschätzten Phase haben und das HF-Vorfeld des Empfängers sättigen. Ihre Auswirkungen können mit sowohl analoger als auch digitaler Hardware sowie mit geeigneter Software, unabhängig davon, ob es sich dabei um solche vom Inband- oder Außerbandtyp handelt, abgeschwächt werden.

#### Mehrwegeführung, $MP_i(t)$

Die Mehrwegeführung  $MP_i(t)$  entspricht einer Zusatzverzögerung über den Ausbreitungskanal und muß entweder geschätzt und entfernt oder abgeschwächt werden. Im Fall, daß die geschätzte Zeitverzögerung  $\tau_i$  verwendet wird, um für die TDOA zwischen dem empfangenen Signal  $r_i(t)$  und dem empfangenen Signal  $r_j(t)$  zu lösen, ist die Differenz in Mehrwegeführung,  $MP_i(t) - MP_j(t)$ , der Verzerrfaktor, welcher abgeschwächt werden muß.

#### Die Auswirkung von Mehrwegeführung $MP_i(t)$

Wenn Mehrwegeführung berücksichtigt wird, könnte sich die Genauigkeit des zu Land stationierten AMPs-WLS sogar noch weiter verschlechtern. Das Zellenfunk-Frequenzband liegt zwischen 824 und 894 MHz, und die Ausbreitungseigenschaften bei diesen UHF-Frequenzen werden eine nachhaltige Auswirkung auf die Ortung mittels Multilateration, wie bei Parsons D., "The Mobile Radio Propagation Channel," John Wiley & Sons, New York, 1992, gezeigt wird, zur Folge haben. Daß die gemessenen Bereiche Sichtverbindungen (LOS)-Entfernungen entsprechen ist eine wesentliche Annahme, welche beim Schätzen der Position mittels Multilateration gemacht wird. Wenngleich LOS der vorherrschende Sendemodus bei diesem Band ist, sind Reflexionen von natürlichen und von Menschenhand geschaffenen Gegenständen sowie Beugung um derartige Gegenstände ebenfalls Möglichkeiten. Mehrwegeführung und Beugung ermöglichen, daß sich das zellulare Signal in stark verbauten Bereichen sowie im Gebäudeinneren ausbreitet. Allerdings bewirken diese auch, daß die Meßbereiche länger sind als die echte LOS-Entfernung, was Fehler in den Multilaterationsvorgang einschleust. Darüber hinaus ist die Ausbreitungsentfernung bei UHF relativ kurz. Dies ermöglicht eine Frequenzwiederverwendung im Zellenfunk-System, begrenzt jedoch die Anzahl von Beobachtbaren im Multilaterationsvorgang. Beispielsweise verursacht Mehrwegeführung in einer dichten städtischen Umgebung mit einer Verzögerungstreibbreite von 3 Mikrosekunden (wie aus Hata, M., "Empirical Formula for Radio Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," IEEE

- Transactions on Vehicular Technology, Bd. VT-29, Nr. 3, August 1980, hervorgeht), daß sich die Ortungsgenauigkeit auf mehr als 1400 m RMS verschlechtert. Auch hier ist dies darauf zurückzuführen, daß die Korrelationsfunktion, aus welcher die Mehrwegeführung berechnet werden kann, eine Auflösung aufweist, welche auf jene der Fourier-Transformation beschränkt ist, was darauf schließen läßt, daß jedwede Mehrwegeführung innerhalb einer derartigen Auflösung anhand von herkömmlichen Verfahren unauflösbar ist. Weiterverarbeitung unter Verwendung eines inversen SR-Algorithmus liefert oftmals ein Ergebnis mit höherer Mehrwegeauflösung, wie aus Dumont, L. R., et al., "Super-resolution of Multipath Channels in a Spread Spectrum Location System," IEE Electronic Letters, Bd. 30, Nr. 19, S. 1583-1584, 15. September 1994, und aus Fattouche et al., US-Patent Nr. 5,570,305, ausgegeben im Okt. 1996, und aus Ziskind, I. et al., "Maximum Likelihood Localization of Multiple Sources by Alternating Projection," IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Bd. ASSP-36, Nr. 10, Oktober 1988, hervorgeht. Eine andere Lösung für Mehrwegeauflösung geht auf Morley, G. D. et al., "Improved Location Estimation with pulse-ranging in presence of shadowing and multipath excess-delay effects," Electronics Letters, Bd. 31, Nr. 18, S. 1609-1610, 31. Aug. 1995, zurück. Es wird vorgeschlagen, SR- und inverse SR-Algorithmen zu verwenden, um die Mehrwegekomponenten im empfangenen Funksignal besser aufzulösen, in Gegensatz zu
- 15 Dent, US-Patent Nr. 5,404,376, ausgegeben am 4. April 1995;  
Dunn et al., US-Patent Nr. 5,600,706, ausgegeben am 4. Feb. 1997; Khan et al., US-Patent Nr. 5,646,632, ausgegeben am 8. Juli 1997;  
Ghosh et al., US-Patent Nr. 5,646,632, ausgegeben am 16. April 1996;  
Krasner, US-Patent Nr. 5,663,734, ausgegeben am 2. Sept. 1997; und
- 20 Krasner, US-Patent Nr. 5,781,156, ausgegeben am 14. Juli 1998;  
welche die Korrelationsspitze nicht weiterverarbeiten.

## Auswahl von Tönen für Lösung IV

- 25 Es liegen vorhandene Töne und generierte Töne vor. Beide Arten von Tönen tragen die MR-Lageinformationen in ihren Phasen (mod  $2\pi$ ).

## Vorhandene Töne in der periodischen Pilotsequenz

- 30 Wenn das empfangene Signal,  $r_i(t)$ , periodisch ist (z. B. das Pilotsignal bei IS-95, der CA-Code bei GPS), kann es durch Verwendung von Fourier-Reihen angenähert werden, oder äquivalent dazu kann eine Reihe von Tönen verwendet werden, um die Pilotsequenz anzunähern:

$$35 \quad s_i(t - \tau_i) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \exp[2\pi n f_m (t - \tau_i)] \quad (29)$$

wobei

- 40 -  $f_m$  die Grundfrequenz der Pilotsequenz ist;  
-  $\tau_i$  die Ausbreitungsverzögerung an der Antenne des i-ten BST ist; und  
-  $c_n$  der komplexe Fourier-Koeffizient der Pilotsequenz ist.

Durch Verwendung der unten angeführten Gleichung (30) kann die TOA,  $\tau_i$ , folgendermaßen geschätzt werden:

$$45 \quad (t - \tau_i) = \{(\text{Phase des } n\text{-ten Terms in (29)}) \text{ Modulo } 2\pi\} / (2\pi n f_m) \quad (30)$$

## Generierte Töne unter Verwendung einer nichtlinearen Operation in bezug auf die Pilotsequenz

- 50 Wenn das empfangene Signal,  $r_i(t)$ , zyklstationär ist, generiert es einen Ton, wenn eine nichtlineare Operation in bezug darauf ausgeführt wird. Die Phase eines derartigen Tons trägt Lageinformationen, welche den MR betreffen. Die meisten digitalen Signale sind zyklstationär, und der generierte Ton erfolgt für gewöhnlich "Symbolrate" (außer bei CDMA, wo der generierte Ton die "Chipping-Rate" ist).

- 55 In dem Fall, wenn die BSTs auf AMPS/TDMA/GSM basieren, ist die Nutzung des zyklstationären Wesens des empfangenen Signals besonders wichtig, zumal diesfalls es nicht wichtig ist, über eine saubere Kopie des Empfangssignals zu verfügen. Nach dem Ausführen der nichtlinearen Operation bezüglich des Empfangssignals wird ein Ton mit einer bekannten (oder geschätzten) Frequenz generiert. Dies läßt den Schluß zu, daß die Beobachtungsdauer verlängert werden kann, solange ein zu empfangendes Signal zur Verfügung steht, d. h. solange ein Anruf hinsichtlich eines CT läuft. Dies führt zu einem verbesserten SNR für das empfangene Signal, wie bei den oben gezeigten CRLBs erläutert wird.

- 60 Die praktische Beschreibung stellt Verfahren und Vorrichtungen vor, um  $\tau_i$  zu schätzen und ihre Fehlerquellen abzuschwächen.

4.  $f_i$ 

- 65 Beim kinematischen Fall, wo sich der MR in bezug auf die BSTs bewegt, sind die Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung (DOT) des MR von Interesse. Die einzige Informationsquelle, welche verwendet werden kann, um eine unabhängige Gleichung für die Geschwindigkeit und DOT des MR herauszulösen, ist

$$f_i = \delta f_i - \Delta f_o + \Delta f_i \quad (31)$$

welche verwendet werden kann, um die Dopplerverschiebung  $\delta f_i$  zu schätzen. Dies wird in Fig. 4 erläutert, welche ein Dreiantennensystem annimmt: die Antenne am m-ten BST mit den Koordinaten  $(x_m, y_m, z_m)$ , die Antenne am k-ten BST mit den Koordinaten  $(x_k, y_k, z_k)$  und die Antenne des n-ten BST mit den Koordinaten  $(x_n, y_n, z_n)$ . Diesfalls stehen die FOAs:  $f_m$ ,  $f_k$  und  $f_n$  in Relation mit

- der Bewegungsrichtung (DOT),  $\phi$ , relativ zu Northing (im Uhrzeigersinn),
- der relativen Bewegungsgeschwindigkeit,  $v$ , in bezug auf die BSTs und
- den Frequenzversätzen  $\Delta f_i$ , wie folgt:

$$f_m = f_c + \delta f_m - \Delta f_o + \Delta f_m = f_c + v/\lambda \cos(\phi - \Lambda_m) - \Delta f_o + \Delta f_m \quad (32a)$$

$$f_k = f_c + \delta f_k - \Delta f_o + \Delta f_k = f_c + v/\lambda \cos(\phi - \Lambda_k) - \Delta f_o + \Delta f_k \quad (32b)$$

$$f_n = f_c + \delta f_n - \Delta f_o + \Delta f_n = f_c + v/\lambda \cos(\phi - \Lambda_n) - \Delta f_o + \Delta f_n \quad (32c)$$

wobei

- $\Lambda_m$  der Winkel im Uhrzeigersinn von Northing zur Linie, die durch  $(x_m, y_m)$  und  $(x, y)$  gebildet wird, ist,
- $\Lambda_k$  der Winkel im Uhrzeigersinn von Northing zur Linie, welche durch  $(x_k, y_k)$  und  $(x, y)$  gebildet wird, ist,
- $\Lambda_n$  der Winkel im Uhrzeigersinn von Northing zur Linie, welche durch  $(x_n, y_n)$  und  $(x, y)$  gebildet wird, ist und
- $(x, y)$  die 2-D (horizontalen) Koordinaten des MR sind.

Mit anderen Worten, wir haben drei Gleichungen (32a, b und c) mit 6 Unbekannten:  $\phi$ ,  $v$ ,  $\Delta f_m$ ,  $\Delta f_k$ ,  $\Delta f_n$  und  $\Delta f_o$ . Das ist ein Problem, welches gelöst werden kann, wenn die Frequenzversatzwerte  $\Delta f_m$ ,  $\Delta f_k$ ,  $\Delta f_n$  durch den RR geschätzt und entfernt werden. Dann erhalten wir zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten:  $v$  und  $\phi$  nach Verwendung der Eintrefffrequenzdifferenz (FDOA):

$$f_m - f_k = v/\lambda \cos(\phi - \Lambda_m) - v/\lambda \cos(\phi - \Lambda_k) \quad (33a)$$

$$f_k - f_n = v/\lambda \cos(\phi - \Lambda_k) - v/\lambda \cos(\phi - \Lambda_n) \quad (33b)$$

Wir bezeichnen eine derartige Lösung als Lösung V. Es ist festzuhalten, daß bei Lösung V die Position des MR  $(x, y)$  vor dem Schätzen der Geschwindigkeit des MR bekannt sein (oder geschätzt werden) muß, um in der Lage zu sein,  $\Lambda_m$ ,  $\Lambda_k$  und  $\Lambda_n$  in Gleichungen (33) zu kennen.

Beim Verarbeiten von  $f_i$ , um  $\delta f_i$  zu schätzen, stoßen wir auf die folgenden Fehlerquellen:

Rauschen,  $w_i(t)$

Die Cramer-Rao-Schranke sieht eine untere Grenze für die Varianz,  $\text{var}(\delta \hat{f}_i)_{T_{\text{Tone}}}$ , des Schätzwertes der Frequenz  $\delta f_i$  eines Tons, infolge AWGN vor:

$$\text{var}(\delta \hat{f}_i)_{T_{\text{Tone}}} \geq \frac{12}{\text{SNR}_i|_{T_{\text{Tone}}} \times N_i \times (N_i^2 - 1) \times 4\pi^2} \quad (34)$$

wobei

- $\text{var}(\delta \hat{f}_i)_{T_{\text{Tone}}}$  die Varianz des Schätzwertes,  $\delta \hat{f}_i$ , der Frequenz  $\delta f_i$  ist,
- $\text{SNR}_i|_{T_{\text{Tone}}} = A_i^2/(2\sigma_n^2)$  der SNR des Tons am MR von der Antenne des i-ten BST ist,
- $A_i$  die Amplitude des Tons am MR von der Antenne des i-ten BST ist,
- $\sigma_n^2$  die Rauschvarianz ist und
- $N_i$  die Anzahl von Abtastungen ist (welche in direkter Relation mit dem Beobachtungsintervall  $T_i$  steht).

Frequenzversätze,  $\Delta f_i$

Wie oben erwähnt wurde, haben wir drei Gleichungen (32a–32c) mit 6 Unbekannten:  $\phi$ ,  $v$ ,  $\Delta f_m$ ,  $\Delta f_k$ ,  $\Delta f_n$  und  $\Delta f_o$ . Dieses Problem kann gelöst werden, wenn die Frequenzversätze  $\Delta f_i$  vom RR geschätzt und entfernt werden.

Mehrwegeführung,  $MP_i(t)$

Die Auswirkung der Mehrwegeführung  $MP_i(t)$  ist diesfalls derart, daß  $\delta f_i$  aufgrund von dynamischen (nicht stationären) Reflektoren wie Automobilen, Bussen, LKWs usw. eine gewisse Dopplerverschiebung verliehen wird.

Interferenz,  $\tilde{I}_i(t)$

Diesfalls spielt  $\tilde{I}_i(t)$  dieselbe Rolle beim Verzerren des Schätzwertes des Frequenz  $\delta f_i$  wie beim Verzerren des Schätz-

wertes der Phase  $\theta_i$ , abgesehen davon, daß ihre Auswirkung stärker reduziert werden kann.

### Fehler beim Schätzen (x,y)

5 In den Gleichungen (33) wird angenommen, daß die Position, (x,y), des MR vor dem Schätzen seiner Geschwindigkeit und DOT bekannt ist. Dies ist für gewöhnlich nicht wahr, und (x,y) muß zunächst geschätzt werden. Die Schätzung von (x,y) ist unvollkommen, was darauf hinausläuft, daß sie Fehler enthalten wird, welche die Schätzung der Geschwindigkeit des MR und seiner DOT beeinflussen können.

10 Die praktische Beschreibung erläutert Verfahren und Vorrichtungen, um  $\delta f_m$ ,  $\delta f_k$  und  $\delta f_n$  zu schätzen und Fehlerquellen abzuschwächen.

### Ortungstechnologien

#### 1. TOA/Bereichs-Ortung (Kreismultilateration)

15 In einem 2-D (horizontalen) Ortungssystem ist es möglich, die Position eines MR vom Bereich des MR zu zumindest zwei BSTs zu schätzen. Der MR-horizontale Positionsschätzwert ist einfach der Schnittpunkt zweier horizontaler Kreise mit Radien, welche gleich den Bereichen sind und an den BSTs ihre Mittelpunkte haben. Dieses Ortungsverfahren kann daher als Kreismultilateration bezeichnet werden. Bereiche können durch Subtrahieren der bekannten Sendezeit  $\tau_0$  des  
20 Signals  $s(t)$  von der gemessenen TOA,  $\tau_i$ , des Signals  $r_i(t)$  berechnet werden. Es gibt drei mögliche Lösungen:

1. Wenn die Sendezeit,  $\tau_0$ , bekannt ist, bezeichnen wir die Ortungsmethode als Bereichsorten.
2. Wenn die Sendezeit,  $\tau_0$ , unbekannt ist und geschätzt werden soll, bezeichnen wir die Ortungsmethode als TOA-Orten.
- 25 3. Wenn die Sendezeit,  $\tau_0$ , unbekannt ist und unter Verwendung von TDOA entfernt werden soll, bezeichnen wir die Ortungsmethode als TDOA-Orten (welches in den folgenden beiden Abschnitten besprochen wird).

30 Beim Bereichsorten ist eine Art des Ermitteln der Sendezeit,  $\tau_0$ , die RTD zwischen einem MR und einem BST mit Bezug auf die Umlaufzeit von dem Zeitpunkt, zu dem der MR ein Signal zum BST sendet, zum Zeitpunkt, zu dem er die Antwort des BST auf die MR-Sendung erhält, zu verwenden. Diesfalls ist ein Minimum von zwei unabhängigen Gleichungen erforderlich, um für die Unbekannten x und y zu lösen. Wenn zwei Bereiche aus TOA-Messungen von zwei verschiedenen BSTs geschätzt werden, erhalten wir zwei Lösungen für die MR-Ortung an den Schnittpunkten von zwei Kreisen, welche ihre Mittelpunkte an den beiden BSTs aufweisen. Diese Mehrdeutigkeit kann durch Einbinden einer dritten Bereichsmessung von einem anderen BST oder durch (näherungsweise) Winkelschätzung von einer oder mehreren Orten durch Untersuchen der Signalstärke oder Phasendifferenz beim Eintreffen aufgelöst werden.

35 Beim TOA-Orten haben wir nun drei Unbekannte: x, y und  $\tau_0$ . TOAs von drei BSs sind erforderlich, und die Gleichung, welche dem i-ten BST entspricht, lautet

$$40 \quad \tau_i - \tau_0 - \frac{1}{c} \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} = 0 \quad (35)$$

wobei

- $\tau_i$  die Eintreffzeit des Signals  $r_i(t)$  von der Antenne des i-ten BST am MR ist,
- 45 –  $\tau_0$  die Sendezeit von Signal  $s(t)$  vom i-ten BST ist,
- (x, y) die am besten bekannte 2-D Position des MR ist,
- (x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>) die bekannte 2-D Position der Antenne am i-ten BST ist, wobei i = 1, ..., N.

50 Wenn mehr als die Mindestanzahl von BSTs verfügbar sind, wie oben erläutert wurde, so heißt es, daß Redundanz vorliegt. Wenn ein redundanter Satz gemessener TOAs Fehler enthält, müssen die TOAs bereinigt werden, um eine eindeutige Lösung für die Unbekannten zu erhalten. Der Grad, um welchen jede TOA bereinigt wird, wird als Residuum bezeichnet. Mehrere Verfahren des Bereinigens des Beobachteten gemäß einigen Optimierungskriterien sind verfügbar, u. a.:

- 55 – allgemeine erwartungstreue Mindestvarianzschätzung,
- beste lineare erwartungstreue Schätzung,
- Maximalwahrscheinlichkeitsschätzung,
- Kleinstquadratschätzung,
- Momentenmethode,
- 60 – allgemeine Bayessche Schätzung,
- Lineare Bayessche Schätzung,
- Kalman-Filtern usw.

65 Es wird vorgezogen, die beobachteten TOAs derart bereinigen, daß die Summe der Quadrate der Residuen ein Minimum ist. Dies ist Kleinstquadrateschätzung.

In einem Ortungssystem spielt die Geometrie (das heißt, die relativen Positionen der BSTs mit Hinblick auf einander und den zu ortenden MR) eine bedeutende Rolle, wie aus Gleichung (36) hervorgeht

$$\text{std}(\text{Position}) = \text{DOP} \times \text{std}(\hat{R}_i) \quad (36)$$

wobei

- $\text{std}(\hat{R}_i)$  die Standardabweichung des Bereichsschätzwertes  $\hat{R}_i$  ist, welcher aus Gleichungen (19) oder (26) erhalten wird und
- DOP die Präzisionsverdünnung ist, welche ein Maß der Geometrie ist.

In einem 2-D-Ortungssystem ist es üblich, auf die Horizontal-DOP (HDOP) Bezug zu nehmen, welche als

$$\text{HDOP} = \sqrt{\text{EDOP}^2 + \text{NDOP}^2} \quad (37)$$

definiert ist, wobei

- EDOP die Ost-DOP ist und als Quadratwurzel des Elements in der 1. Reihe und 1. Spalte von  $C_{\text{TOA}}$  definiert wird,
- NDOP die Nord-DOP ist und als Quadratwurzel des Elements in der 2. Reihe und 2. Spalte von  $C_{\text{TOA}}$  definiert wird,
- $C_{\text{TOA}}$  eine unskalierte Matrix ist, welche als  $C_{\text{TOA}} = [A^T C_1^{-1} A]^{-1}$  definiert wird,
- $C_1$  die unskalierte Meßkovarianzmatrix (die Identitätsmatrix von geeigneter Dimension) ist,
- $A$  die Designmatrix für das Modell von Gleichung (35) ist und als

$$A = \frac{1}{c} \begin{bmatrix} -\frac{x-x_1}{d_1} & -\frac{y-y_1}{d_1} & -c \\ -\frac{x-x_2}{d_2} & -\frac{y-y_2}{d_2} & -c \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -\frac{x-x_N}{d_N} & -\frac{y-y_N}{d_N} & -c \end{bmatrix} \quad (38)$$

definiert wird, und  $d_i$  der beste abgeleitete Abstand (Bereich) zwischen dem MR und der Antenne am  $i$ -ten BST ist.

#### Gewichten der TOA-Beobachtungen

Beim Positionsschätzvorgang müssen nicht alle TOA-Beobachtungen gleich gewichtet sein. TOA-Beobachtungen, welche als zuverlässiger erachtet werden, können schwerer gewichtet werden, als jene, die als weniger zuverlässig erachtet werden. Dies wird durch die Beobachtungskovarianzmatrix bewerkstelligt. Die Inverse von  $C_1$  ist die Gewichtungsmatrix. Größere Werte auf der Diagonalen von  $C_1^{-1}$  entsprechen schwererer Gewichtung für die entsprechenden TOA-Beobachtungen. Im Zusammenhang mit Mobiltelefonortung ist RSSI von jedem BST ein Verfahren, um den TOAs Gewichtungen zuzuteilen. Ein hoher RSSI von einem BST deutet auf eine zuverlässige TOA hin. Dies ist auf zwei Tatsachen zurückzuführen:

1. Der RSSI von einem BST besteht für gewöhnlich aus Empfangssignalleistung + Empfangsrauschleistung. Das Rauschen im Empfänger ist in erster Linie thermisches Rauschen, welches eine Funktion von Bandbreite und Temperatur ist. Wenn zwei BSs vergleichbare Temperaturen und Bandbreiten aufweisen, ist die Empfangsrauschleistung in beiden BSTs ungefähr dieselbe. Somit bedeutet ein hoher RSSI eine hohe Empfangssignalleistung, was wiederum auf ein hohes SNR hinausläuft. Dies ist erstrebenswert.
2. Des weiteren bedeutet ein höherer RSSI für gewöhnlich weniger Abschattung als ein niedrigerer RSSI, was wiederum weniger Mehrwegeführung bedeutet. Dies ist ebenfalls erstrebenswert.

#### Blunder-Erkennung beim TOA-Orten

"Blunder" sind schwere Fehler in den TOA-Beobachtungen. Sie können durch große Schwankungen im Signalpegel verursacht werden, welche entweder auf flachen Schwund oder plötzliche Inband-Interferenz zurückzuführen sind. Wenn sie nicht beseitigt werden, verursachen Blunder große Fehler hinsichtlich der geschätzten Position. Es ist möglich, Blunder enthaltende Beobachtungen durch Beobachten des Abschlußfehlers jeder Beobachtung während des iterativen Kleinstquadrat-Vorganges zu erkennen. Ein Abschlußfehler wird als der Wert des Positionsmodells (35) definiert, welchem die beste verfügbare Positionsschätzung  $(x, y)$  zugeteilt wird. Blunder enthaltende Beobachtungen weisen im all-

gemeinen weit größere Abschlußfehler als Beobachtungen, welche keine Blunder enthalten, auf. Wenn eine Beobachtung als einen Blunder aufweisend erkannt wird, kann sie vom Positionsschätzvorgang entfernt werden.

Wir versuchen, die Auswirkungen der Geometrie zu reduzieren, d. h. den Wert der HDOP in (37) zu reduzieren, indem wir den MR eine große Anzahl von BSTs überwachen lassen. In der Zellenfunkttelekommunikation sind Frequenzwiederverwendung und flacher Schwund häufige Vorkommnisse. Daher erhöht das Erhöhen der Anzahl von Überwachungs-BSTs (was wahrscheinlich die HDOP reduziert) im allgemeinen  $\text{std}(\hat{R}_i)$ . Infolgedessen ist die Blunder-Erkennung wesentlich als Teil des Verfahrens zum Minimieren von Positionsfehlern durch das Maximieren der Anzahl von BSTs (und somit durch das Reduzieren der HDOP), ohne eine große Einbuße hinsichtlich  $\text{std}(\hat{R}_i)$  in Kauf nehmen zu müssen. In Fällen, in denen Blunder nicht erkannt werden, kann ein schlechteres SNR an manchen BSTs die Einbindung von Messungen von jenen BSTs bewirken, um den  $\text{std}(\text{range})$  mehr zu erhöhen, als diese die HDOP reduzieren. In Anbetracht dieses Kompromisses wird die Anzahl von BSTs, welche zum Orten des MR verwendet werden, optimiert, derart, daß  $\text{std}(\text{Position})$  in (36) minimiert wird.

Blunder können auch durch eine statistische Analyse der Beobachtungsresiduen erkannt werden, welche aus dem Kleinstquadrat-Vorgang berechnet werden, wie bei Vanicek, P., Krakiwsky, E., "Geodesy: The Concepts," North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1982, zu ersehen ist. Das Residuum jeder TOA-Beobachtung kann durch seine eigene geschätzte Standardabweichung geschätzt werden, derart, daß der gesamte Satz von Residuen als zur normalen Verteilung mit Nullmittel und Einheitsstandardabweichung gehörend angenommen wird. Ist diese Hypothese richtig, sollten die normierten Residuen innerhalb eines gewissen spezifizierten Vertrauensbereiches für die Standardnormalverteilung fallen. Für eine Beobachtung, deren Residuum markiert ist, wird vermutet, daß sie einen Blunder enthält.

## 2. TDOA-Orten (Hyperbolische Multilateration)

Anstatt die unbekannte Sendezeit zu schätzen, ist es möglich, diese zu beseitigen. Dies wird durch Differenzieren von TOAs von zwei verschiedenen BSTs bewerkstelligt. Da die Sendezeit von beiden BSTs sowohl am RR als auch am MR bekannt ist, kann sie von der resultierenden TDOA (Zeitdifferenz des Eintreffens) entfernt werden. Es kann gezeigt werden, daß die Ortskurve aus Punkten, für welche eine bestimmte TDOA gültig ist, einer Hyperbel entspricht. Die Seite der Hyperbel, auf welcher der MR liegen muß, ist am Vorzeichen der TDOA zu erkennen. Mit TOAs von drei BSTs können zwei unabhängige TDOAs gebildet werden. Der Schnittpunkt der beiden entsprechenden Hyperbeln schätzt die Position des MR. Dieses Verfahren wird gemeinhin als hyperbolische Multilateration bezeichnet.

Das 2-D-Ortungsmodell für hyperbolische Multilateration ist

$$\Delta\tau_{ij} - \frac{1}{c} \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} + \frac{1}{c} \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2} = 0 \quad (39)$$

wobei

- $\Delta\tau_{ij} = \tau_i - \tau_j$ ,  $i \neq j$ , und
- $\tau_i$  die Eintreffzeit von Signal  $r_i(t)$  an der Antenne des  $i$ -ten BST ist.

## Auswirkung der Geometrie auf TDOA-Orten

Die Geometrie wirkt sich auch auf das TDOA-Orten aus. Die HDOP wird wieder aus (37) berechnet, wobei die Designmatrix nun

$$A = \frac{1}{c} \begin{bmatrix} -\frac{x - x_2}{d_2} + \frac{x - x_1}{d_1} & -\frac{y - y_2}{d_{2,m}} + \frac{y - y_1}{d_1} \\ -\frac{x - x_3}{d_3} + \frac{x - x_1}{d_1} & -\frac{y - y_3}{d_{3,n}} + \frac{y - y_1}{d_1} \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{x - x_N}{d_N} + \frac{x - x_1}{d_1} & -\frac{y - y_N}{d_N} + \frac{y - y_1}{d_1} \end{bmatrix} \quad (40)$$

lautet, wobei  $N$  in (40) die Anzahl von BSTs darstellt. Es ist zu beachten, daß die TOA von der Antenne des ersten BST von allen anderen TOAs subtrahiert wird.

Die unskalierte Beobachtungskovarianzmatrix lautet

$$C_1 = \begin{bmatrix} 2 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & \ddots & & 1 \\ \vdots & 1 & \ddots & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 2 \end{bmatrix}. \quad (41)$$

#### Gewichten der TDOA-Beobachtungen

Ein Gewichten der TDOA-Beobachtungen ist möglich. Da allerdings die TDOAs eine Funktion von zwei TOAs sind, ist das Verfahren des Zuordnens von Gewichtungen nicht mehr direkt.

#### Blunder-Erkennung beim TDOA-Orten

Blunder-Erkennung kann auch beim TDOA-Orten durchgeführt werden. Allerdings entsprechen in diesem Zusammenhang Abschlußfehler und Residuen TDOAs. Demnach kann ein versagender Abschlußfehler oder ein versagendes Residuum auf einen Blunder in einer der beiden TOA-Beobachtungen, aus denen die TDOA abgeleitet wird, zurückzuführen sein. Es ist nicht immer möglich, den fehlerverursachenden BST herauszutrennen.

#### Mehrfachlösungen beim TDOA-Orten

Zwei Hyperbelhälften, welche aus zwei unabhängigen TDOAs gebildet werden, können sich zweimal überschneiden. Dies ergibt zwei mathematisch richtige Lösungen. Dies gilt vor allem im Fall des Ortens von MRs, wo kurze Entfernungen und schlechte Geometrie allzu oft vorkommen.

Lösungsbinarverzweigung (die Existenz zweier Lösungen für die Ortungsgleichungen) ist sehr häufig ein Problemfaktor beim exakt bestimmten Fall. Für den exakt bestimmten Fall kann die Existenz von zwei Lösungen anhand des bei Chaffee, J. W. et al., "Bifurcation of Pseudorange Equations," Proceedings of the 1993 National Technical Meeting, San Francisco, California, 20.-22. Januar 1993, The Institute of Navigation, angegeben Verfahrens festgestellt werden. Wenngleich es ursprünglich der Erkennung von Binarverzweigung beim GPS (Global Positioning System) dienen sollte, ist dieses Verfahren gleichermaßen auf den Fall der MR-Ortung anwendbar.

Wenn mehr als zwei TDOAs im 2-D-Ortungsfall verfügbar sind, ist die Wahrscheinlichkeit einer exakten Lösungsbinarverzweigung äußerst gering. Es ist jedoch möglich, daß Binarverzweigung für eine Untermenge von zwei TDOAs besteht. In einem derartigen Fall kann die zweite Lösung die endgültige Lösung beeinflussen, welche unter Verwendung aller verfügbaren TDOAs erhalten wurde.

In jedem Fall kann, wenn eine Lösungsbinarverzweigung besteht, der iterative Kleinstquadrat-Positionsschätzalgorithmus zu einer beliebigen der beiden Lösungen konvergieren. Die konvergierte Lösung ist eine Funktion der ursprünglichen Ausgangsposition, welche verwendet wird, um den iterativen Kleinstquadrat-Vorgang zu beginnen. Um auf die Lösung, welche der tatsächlichen Position des MR entspricht, zu konvergieren, muß die Ausgangsposition, welche zum Beginnen der Kleinstquadrate verwendet wird, relativ genau sein. Fall keine Vorabinformationen über den Standort des MR verfügbar sind, ist ein in geschlossener Form darstellbarer Positionsschätzalgorithmus, der sich der TOA- oder TDOA-Beobachtungen bedient, die einzige Möglichkeit.

Eine Reihe von in geschlossener Form darstellbaren Ortungsalgorithmen wurden entwickelt. Beispiele sind sphärische Interpolation (Smith, J. O., et al., "Closed-Form Least-Squares Source Location Estimation from Range-Difference Measurements," IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Bd. ASSP-35, Nr. 12, Dez. 1987, S. 1661-1669), die Methode von Schau und Robinson (Schau, H. C., et al., "Passive source localization employing intersecting spherical surfaces from time-of-arrival differences," IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Bd. ASSP-35, Nr. 8, Aug. 1987, S. 1223-1225), das Verfahren nach Bancroft (Bancroft, S., "An algebraic solution of the GPS equations," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Bd. AES-21, Nr. 7, Jan. 1985, S. 56-59), die Methode von Chan und Ho (Chan, Y. T., et al., "A Simple and Efficient Estimator for Hyperbolic Location," IEEE Transactions on Signal Processing, Bd. 42, Nr. 8, Aug. 1994, S. 1905-1915) und LOCA (Lage auf der konischen Achse) von Schmidt, R. O. "A New Approach to Geometry of Range Difference Location," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Bd. AES-8, Nr. 6, Nov. 1972, S. 821-835.

LOCA wird bei der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung verwendet. LOCA ist das mathematische Doppel hyperbolischer Trilateration. Der grundlegende Lehrsatz von LOCA besagt, daß TOA-Differenzen von drei BSTs mit bekanntem Standort eine gerade Positionslinie ergeben. Diese gerade Linie ist die Hauptachse eines Kegelschnitts. Die drei BSTs liegen auf dem Kegelschnitt, und der MR, dessen Standort geschätzt wird, liegt an einem Brennpunkt des Kegelschnitts. Im Fall von Redundanz und 3-D-Ortung wird LOCA zum Ebenenschnitt erweitert, wie bei Schmidt, R. O., "A New Approach to Geometry of Range Difference Location," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Bd. AES-8, Nr. 6, Nov. 1972, S. 821-835, zu ersehen ist.

Ebenenschnitt kann gleichermaßen auf den Fall der Redundanz beim 2-D-Orten angewendet werden.

Bei LOCA sind Kegelschnitte möglich: eine Ellipse, eine Hyperbel oder eine Parabel. Der jeweilige Kegelschnitt hängt von den relativen Positionen der BSTs und dem zu ortenden MR ab. Jeder dieser Kegelschnitte weist zwei Brennpunkte auf (bei der Parabel befindet sich ein Brennpunkt im Unendlichen) und daher zwei mögliche Lösungen. Im Fall einer Ellipse wird der richtige Brennpunkt von den Vorzeichen der TDOAs bestimmt. Im Fall der Parabel ist die Lösung offensichtlich. Wenn der Kegelschnitt jedoch eine Hyperbel ist, kann der richtige Brennpunkt nicht aus den gegebenen

TDOAs ermittelt werden. Chaffees Verfahren der Binärverzweigungserkennung bei Chaffee, J. W. et al., "Bifurcation of Pseudorange Equations," Proceedings of the 1993 National technical Meeting, San Francisco, California, 20.-22. Januar 1993, The Institute of Navigation, zeigt Binärverzweigung für den Fall der Hyperbel und keine Binärverzweigung für die Fälle der Ellipse und der Parabel. Mit vier BSs wird ein zweiter Kegelschnitt erhalten. Der Schnittpunkt der Hauptachsen der beiden Kegelschnitte ist die MR-Positionsschätzung. Somit besteht keine Mehrdeutigkeit und Binärverzweigung stellt keinen Problemfaktor dar, wenn Ebenenschnitt bei Vorliegen von Redundanz verwendet wird.

Wenn die TOAs große Fehler enthalten, können LOCA oder Ebenenschnitt eine äußerst schlechte Lösung darstellen. Wenn sie als Ausgangsposition für Kleinstquadrate verwendet wird, kann diese schlechte Lösung bewirken, daß Kleinstquadrate divergiert. In diesem Fall kann die beste mögliche Vorgehensweise sein, die Koordinaten der beteiligten BSs zu mitteln und diesen Wert als Ausgangsposition für Kleinstquadrate zu verwenden. Eine andere Alternative ist, die genäherten Koordinaten des BST, mit welchem der MR kommuniziert, als Ausgangsposition zu verwenden.

### 3. Hybrid-TDOA-Orten (Kreismultilateration mit TDOAs)

In manchen Fällen ist es erstrebenswert oder sogar erforderlich, TDOAs und nicht TOAs zu verwenden. Wie jedoch oben erläutert wird, ist es nicht immer möglich, Blunder herauszutrennen, wenn TDOAs verwendet werden. Es ist jedoch möglich, ein Ortungsmodell zu konstruieren, welches sich TDOAs bedient, für einzelne TOAs jedoch Residuen und Abschlußfehler ergibt.

Um dies zu bewerkstelligen, wird ein BST als Referenz gewählt. Daraufhin wird die Annahme gemacht, daß die TOA am Referenzort gleich der Sendezeit,  $t_0$  ist. Ab diesem Punkt folgt die Entwicklung jener der Kreismultilateration, abgesehen davon, daß die TOA des Referenz-BST von allen TOAs (einschließlich jener der Referenz-BST) subtrahiert wird, anstatt die Sendezeit zu subtrahieren. Das Ortungsmodell lautet dann

$$\Delta\tau_{i1} + \frac{1}{c}R_u - \frac{1}{c}\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} = 0 \quad (42)$$

wobei

- $\Delta\tau_{i1} = t_i - t_1 = 1, \dots, N$  und
- $R_u$  der Bereich von der Antenne des Referenz-BST (ersten BST) zur Position des MR ist.

Das Modell aus (42) weist dieselbe Struktur auf wie jenes der Kreismultilateration (Gleichung (35)), abgesehen davon, daß die dritte Unbekannte  $R_u$  ist und nicht die Sendezeit.

Das Modell von (42) liefert N Beobachtungen und daher N Residuen und Abschlußfehler für N BSTs. Die N Beobachtungen sind jedoch eine 0 und N-1 TDOAs. Die Struktur der Gleichungen ist jene des TOA-Ortens, wogegen die Beobachtungen jene des TDOA-Ortens sind. Daher der Name Hybrid-TDOA-Orten.

### Auswirkung der Geometrie auf Hybrid-TDOA-Orten

Die Designmatrix für Hybrid-TDOA-Orten ist

$$A = \frac{1}{c} \begin{bmatrix} -\frac{x-x_1}{d_1} & -\frac{y-y_1}{d_1} & 1 \\ -\frac{x-x_2}{d_2} & -\frac{y-y_2}{d_2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -\frac{x-x_N}{d_N} & -\frac{y-y_N}{d_N} & 1 \end{bmatrix} \quad (43)$$

Es ist zu beachten, daß (43) mit (38) ident ist, abgesehen von der dritten Spalte, welche der dritten Unbekannten entspricht.

Die ungewichtete und unskalierte Beobachtungskovarianzmatrix,  $C_1$ , ist dieselbe wie jene für TOA-Ortung, die Identitätsmatrix der Dimension N.

DOPs können wie zuvor aus  $[A^T C_1^{-1} A]^{-1}$  berechnet werden.

### Gewichten der Hybrid-TDOA-Beobachtungen

Wenngleich die Beobachtungen genau gesagt TDOAs sind, können sie als Beobachtungen behandelt werden, welche den einzelnen BSTs entsprechen. Das heißt, die erste Beobachtung, welche immer Null ist, kann als die Beobachtung des Referenz-BST (oder ersten BST) betrachtet werden. Die zweite Beobachtung, welche aus der TOA der Referenz-BST subtrahiert von der TOA des zweiten BST besteht, wird als Beobachtung des zweiten BST behandelt und so weiter. Demgemäß können die N diagonalen Elemente von  $C_1$  für die einzelnen BSTs gewichtet werden.



## Blunder-Erkennung beim Hybrid-TDOA-Orten

Auf gleiche Weise stehen  $N$  unabhängige Abschlußfehler und Residuen, eine für jeden BST, zur Analyse zur Verfügung. Daraufhin kann Blunder-Erkennung wie beim Fall von TOA-Ortung durchgeführt werden und Blunder in einzelnen TOA-Beobachtungen können erkannt werden.

## Mehrfachlösungen beim Hybrid-TDOA-Orten

Da die verwendeten Beobachtungen in Wirklichkeit TDOAs sind, unterliegt dieses Ortungsverfahren Lösungsbinärverzweigung. Das Verfahren des Behandeln von Mehrfachlösungen, welches im Rahmen der hyperbolischen Multilateration besprochen wurde, ist hier gleichermaßen anwendbar.

## 4. AOA-Orten

Im Fall eindeutiger AOA-Messungen liegen nur zwei Unbekannte für die Positionsschätzung vor – die 2-D-Koordinaten des zu ortenden MR. Daher sind mindestens zwei unabhängige AOA-Messungen erforderlich. Verwenden wir also wieder  $(x, y)$  als 2-D-Koordinaten des MR und  $(x_i, y_i)$  als 2-D-Koordinaten der Antenne des  $i$ -ten BST. An der Antenne des  $i$ -ten BST wird der AOA,  $\Lambda_i$ , gemessen, wobei:

- $\Lambda_i$  der Winkel im Uhrzeigersinn von Northing zu der Linie, welche den MR mit der Antenne des  $i$ -ten BST verbindet, ist (ähnlich  $\Lambda_i$  in Gleichungen (32) und (33); nicht zu verwechseln mit  $\gamma_i$  in Gleichungen (15), (16), (21), (22) und (23)).

Das mathematische Ortungsmodell ist dann

$$(x - x_i)\cos\Lambda_i - (y - y_i)\sin\Lambda_i = 0 \quad (44)$$

Wenn mehr als zwei unabhängige AOA-Beobachtungen verfügbar sind, können Kleinstquadrate verwendet werden, um eine eindeutige Lösung zu erhalten.

## Auswirkung der Geometrie auf AOA-Orten

Die relativen Positionen von BSTs in bezug auf einander und auf den zu ortenden MR sind ebenfalls für die AOA-Ortung von Bedeutung. DOP kann wieder zum Quantifizieren der Geometrie verwendet werden. Aus dem 2-D-Ortungsmodell (44) wird die Designmatrix als

$$A = \begin{bmatrix} \cos\Lambda_1 & -\sin\Lambda_1 \\ \cos\Lambda_2 & -\sin\Lambda_2 \\ \vdots & \vdots \\ \cos\Lambda_N & -\sin\Lambda_N \end{bmatrix} \quad (45)$$

ermittelt. Die unskalierte und ungewichtete Beobachtungskovarianzmatrix,  $C_1$ , ist die Identitätsmatrix von Dimension  $N$ . Die DOPs können wieder aus  $[A^T C_1^{-1} A]^{-1}$  ermittelt werden.

## Gewichten der AOA-Beobachtungen

Die einzelnen AOA-Beobachtungen können durch die Beobachtungskovarianzmatrix  $C_1$  gewichtet werden. Jenen AOA-Beobachtungen, die als zuverlässiger erachtet werden, wird eine kleinere Varianz oder umgekehrt eine schwerere Gewichtung zugeteilt.

## Blunder-Erkennung beim AOA-Orten

Wie beim Fall von TOA- oder TDOA-Beobachtungen können AOA-Beobachtungen Blunder enthalten. Wenn redundante Beobachtungen verfügbar sind, kann statistisches Prüfen der Beobachtungsresiduen und -Abschlußfehler verwendet werden, um Beobachtungen zu erkennen, welche Blunder enthalten.

## Feststellungen

1. Wie oben erwähnt wurde, kommt es bei der AOA-Lösung in Gleichung (15) zu einem Mehrdeutigkeitsproblem, welches gelöst werden kann, entweder durch
  - Verwendung von TDOA sowie AOA gemäß Erläuterung im nächsten Abschnitt oder
  - durch Verwendung von mehr als zwei Antennen an derselben BS. Dies ist in sektorisierten Zellen möglich, da jeder Sektor für gewöhnlich zwei Diversitätsantennen aufweist. Mit anderen Worten könnten in einer Dreisektorenzelle insgesamt sechs Antennen verfügbar sein.
2. Wenn die Diversitätsantennen nur vertikal getrennt sind, ist der geschätzte AOA der Elevationswinkel. Diesfalls

ist es möglich, beide Diversitätsantennen zu verwenden, da sie voneinander unabhängig sind, d. h. sie liefern unabhängige Beobachtungen. Diversitätsbeobachtungen können mittels bestens bekannter Verfahren, unter anderem mittels Selektionskombinieren, Maximalverhältnismkombinieren, Kophasenkombinieren, Gleichverstärkungskombinieren, oder anderer Verfahren, kombiniert werden.

## 5. AOA/TDOA-Orten

Kleinstquadrate ermöglicht die Kombination unterschiedlicher Arten von Beobachtungen. Insbesondere ist es möglich, unter Verwendung von sowohl AOA-Beobachtungen und TDOA-Beobachtungen innerhalb einer einzigen Kleinstquadratebereinigung die 2-D-Position zu schätzen.

Eine Kombination aus den beiden unterschiedlichen Beobachtungsarten ist in derartigen Situationen besonders zweckmäßig, in denen nur zwei BSTs zum Schätzen der 2-D-Position eines MR verfügbar sind. Wenn zwei BSTs verwendet werden, um den AOA des kommenden Signals für diese BSTs zu schätzen, sind zahlreiche AOA-Mehrdeutigkeiten möglich, wie aus Gleichung (15) hervorgeht. Dies ist sowohl auf das Wesen der AOA-Schätzung mit einer 1-D-Lineanordnung als auch auf die Tatsache zurückzuführen, daß die Beabstandung zwischen Antennen größer sein kann als eine Wellenlänge. Daher sind mit nur zwei unabhängigen AOA-Beobachtungen viele Positionslösungen möglich, und es gibt keine Möglichkeit festzustellen, welche der vielen Lösungen richtig ist.

Wenn jedoch zusätzlich zu den beiden unabhängigen AOA-Beobachtungen, TOA ebenso an jedem der beiden fern gelegenen BSTs gemessen wird (möglicherweise unter Verwendung von  $p_i(t - \tau_i + \tau_{0,i} - \Delta t_i)$  in Gleichung (20)), kann eine TDOA berechnet werden. Diese TDOA entspricht einer Hyperbelseite, welche, falls kein Fehler vorliegt, durch den Schnittpunkt von zwei der vielen Trägerlinien, welche aus den mehrdeutigen AOA's abgeleitet werden, kreuzt.

Wenn die AOA- und TDOA-Beobachtungen Fehler umfassen, werden sich keine zwei Trägerlinien und die gemessene Hyperbelseite exakt miteinander kreuzen. Für die gemessene TDOA und jedwede zwei bestimmten AOA's, ergibt Kleinstquadrate die Positionslösung, welche die Summe der Quadrate der Residuen minimiert. Beobachtungsresiduen sind verfügbar, da zwei Unbekannte, die 2-D-Koordinaten, mit drei unabhängigen Beobachtungen (2 unabhängige AOA's und 1 TDOA) vorliegen.

Um das richtige AOA-Paar aus den Mehrdeutigkeiten herauszutrennen, wird jede AOA-Kombination mit der TDOA-Beobachtung in Kleinstquadrate kombiniert. Jene Kombination von AOA's, welche zur kleinsten Summe von Quadraten von Residuen führt, wird als richtig gewählt. Die entsprechende Positionslösung wird als MR-Positionsschätzung verwendet.

Wenn AOA- und TDOA-Beobachtungen in Kleinstquadrate kombiniert werden, werden sowohl das Modell für AOA-Orten (44) und das Modell für TDOA-Orten (39) verwendet. Ohne Verlust der Allgemeingültigkeit ist die Designmatrix A für zwei unabhängige AOA-Beobachtungen und eine TDOA-Beobachtung

$$A = \begin{bmatrix} \cos \Lambda_1 & -\sin \Lambda_1 \\ \cos \Lambda_2 & -\sin \Lambda_2 \\ -\frac{x-x_2}{d_2} + \frac{x-x_1}{d_1} & -\frac{y-y_2}{d_2} + \frac{y-y_1}{d_1} \end{bmatrix} \quad (46)$$

wobei  $d_i$  die beste abgeleitete Entfernung zwischen dem MR und dem i-ten BST ist. Es ist zu beachten, daß die ersten beiden Reihen den beiden AOA-Messungen entsprechen, während die dritte Reihe der TDOA-Messung entspricht. Die beiden Spalten entsprechen den beiden Unbekannten,  $x$  und  $y$ . Zusätzliche AOA- und TDOA-Messungen können durch Hinzufügen geeigneter Reihen zu (46) eingebunden werden. Es ist zu beachten, daß der  $1/c$  Faktor, welcher in (40) zu sehen ist, in der TDOA-Meßreihe von (46) fehlt. Dies erfolgt derart, daß die Einheiten im gesamten A dimensionslos sind.

Der Abschlußfehlervektor, welcher für den Kleinstquadratebereinigungsmechanismus erforderlich ist, besteht lediglich aus den Abschlußfehlern aller Beobachtungen. Der Abschlußfehlervektor, welcher der Designmatrix von (46) entspricht, ist

$$w = \begin{bmatrix} (x-x_1)\cos \Lambda_1 - (y-y_1)\sin \Lambda_1 \\ (x-x_2)\cos \Lambda_2 - (y-y_2)\sin \Lambda_2 \\ c * \Delta \tau_{12} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} + \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} \end{bmatrix} \quad (47)$$

wobei

$$- \Delta \tau_{12} = \tau_1 - \tau_2.$$

Da die AOA- und TDOA-Beobachtungen unabhängig sind, ist die unskalierte Beobachtungskovarianzmatrix die Iden-

titätsmatrix von geeigneter Dimension (Anzahl von AOA-Beobachtungen zuzüglich der Anzahl von TDOA-Beobachtungen).

#### Auswirkungen der Geometrie auf AOA/TDOA-Orten

DOP kann wieder zum Quantifizieren der Geometrie verwendet werden. Die DOPs (HDOP, EDOP, NDOP) können aus  $[A^T C_1^{-1} A]^{-1}$  ermittelt werden, wobei A und  $C_1$  unmittelbar oben definiert werden.

#### Gewichten der AOA/TDOA-Beobachtungen

Die einzelnen AOA- und TDOA-Beobachtungen können durch die Beobachtungskovarianzmatrix  $C_1$  gewichtet werden. Jenen AOA- und/oder TDOA-Beobachtungen, welche als zuverlässiger betrachtet werden, wird eine kleinere Varianz oder umgekehrt eine schwerere Gewichtung zugeteilt.

#### Blunder-Erkennung beim AOA/TDOA-Orten

Sowohl TDOA- als auch AOA-Beobachtungen können Blunder enthalten. Statistisches Prüfen der Beobachtungsresiduen und -abschlußfehler kann verwendet werden, um Beobachtungen, welche Blunder enthalten, zu erkennen.

#### 6. AOA/Bereichs-Orten

Sind die Sendezeit oder die Umlaufzeit bekannt, ist der Bereich,  $\hat{R}_i$ , vom MR zum i-ten BST der beobachtete Parameter. Diesfalls können AOA- und Bereichsorten ebenfalls kombiniert werden, um die Lage des MR mit drei BSTs zu schätzen. Ohne Verlust der Allgemeingültigkeit ist die Designmatrix A für zwei AOA-Beobachtungen und eine Bereichsbeobachtung

$$A = \begin{bmatrix} \cos \Lambda_1 & -\sin \Lambda_1 \\ \cos \Lambda_2 & -\sin \Lambda_2 \\ -\frac{x-x_1}{d_1} & -\frac{y-y_1}{d_1} \end{bmatrix}$$

(48)

Der Abschlußfehlervektor, welcher dieser Designmatrix entspricht, ist

$$w = \begin{bmatrix} (x-x_1)\cos \Lambda_1 - (y-y_1)\sin \Lambda_1 \\ (x-x_2)\cos \Lambda_2 - (y-y_2)\sin \Lambda_2 \\ \hat{R}_1 - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} \end{bmatrix}$$

(49)

Da die AOA- und Bereichsbeobachtungen unabhängig sind, ist die unskalierte Beobachtungskovarianzmatrix die Identitätsmatrix von geeigneter Dimension (Anzahl von AOA-Beobachtungen zuzüglich der Anzahl von Bereichsbeobachtungen).

Andererseits ist, ohne Verlust der Allgemeingültigkeit, die Designmatrix A für eine AOA-Beobachtung und zwei Bereichsbeobachtungen

$$A = \begin{bmatrix} \cos \Lambda_1 & -\sin \Lambda_1 \\ -\frac{x-x_1}{d_1} & -\frac{y-y_1}{d_1} \\ -\frac{x-x_2}{d_2} & -\frac{y-y_2}{d_2} \end{bmatrix}$$

(50)

Der Abschlußfehlervektor, welcher dieser Designmatrix entspricht, ist

$$w = \begin{bmatrix} (x - x_1) \cos \Lambda_1 - (y - y_1) \sin \Lambda_1 \\ \hat{R}_1 - \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \\ \hat{R}_2 - \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} \end{bmatrix} \quad (51)$$

## Auswirkung der Geometrie auf AOA/Bereichs-Orten

Auch hier kann DOP verwendet werden, um die Geometrie zu quantifizieren. Die DOPs (HDOP, EDOP, NDOP) können aus  $[A^T C_1^{-1} A]^{-1}$  ermittelt werden, wobei A und  $C_1$  unmittelbar oben definiert werden.

## Gewichten der AOA/Bereichs-Beobachtungen

Die einzelnen AOA- und Bereichsbeobachtungen können durch die Beobachtungskovarianzmatrix  $C_1$  gewichtet werden. Jenen AOA- und/oder Bereichsbeobachtungen, welche als zuverlässiger betrachtet werden, wird eine kleinere Varianz oder umgekehrt eine schwerere Gewichtung zugeteilt.

## Blunder-Erkennung beim AOA/Bereichs-Orten

Sowohl die AOA- als auch die Bereichsbeobachtungen können Blunder enthalten. Statistisches Prüfen der Beobachtungsresiduen und -abschlußfehler kann verwendet werden, um Beobachtungen, welche Blunder enthalten, zu erkennen.

## 7. Schätzung der Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung

In einem kinematischen Ortungssystem muß die 3-D- oder 2-D-Lage des sich bewegenden MR zu verschiedenen Zeitabschnitten geschätzt werden. Zudem kann die Dopplerverschiebung des von jedem BST übertragenen Signals wie früher besprochen geschätzt werden. Die Gleichungen, welche die Frequenz (einschließlich der Dopplerverschiebung) des eintreffenden Signals am MR vom BST

1. mit der relativen Geschwindigkeit des MR mit Bezug auf die BSTs,
2. mit ihrer DOT und
3. mit dem jedem BST eigenen Frequenzversatz

in Relation bringen, werden in Gleichungen (35) angeführt.  
Das Schätzmodell für Geschwindigkeit und DOT ist daher

$$f_i - v/\lambda \cos(\varphi - \Lambda_i) - \Delta f_i + \Delta f_0 = 0 \quad (52)$$

wobei  $\Delta f_i$ , der Frequenzversatz für den i-ten BST, vom RR als bekannt angenommen wird. Da zu jedwedem bestimmten Zeitabschnitt die Position des MR (x,y) mittels eines der oben genannten Verfahren geschätzt wird, kann der Winkel  $\Lambda_i$  in (52) für jeden BST berechnet werden. In Gleichung (52) sind dann  $f_i$ ,  $\lambda$ ,  $\Delta f_i$  und  $\Lambda_i$  die Bekannten (wobei  $f_i$  gemessen oder beobachtet wird) und  $v$ ,  $\varphi$  und  $\Delta f_0$  die Unbekannten. Drei BSTs sind erforderlich – dieselbe Anzahl, welche erforderlich ist, um die 2D-MR-Position unter Verwendung von TOA- oder TDOA-Ortung zu schätzen.

## Auswirkung der Geometrie auf Geschwindigkeits- und Bewegungsrichtungsschätzung

Die Geometrie beeinflusst auch die Schätzung von Geschwindigkeit und DOT. Beispielsweise ist es intuitiv klar, daß, wenn sich MR auf einer Linie bewegt, die senkrecht auf die Linie steht, welche diesen und einen BST verbindet, keine Informationen betreffend die Geschwindigkeit des MR aus beobachteten Daten an jenem BST verfügbar sind.

Die Designmatrix für das Modell von (52) ist

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{\cos(\varphi - \Lambda_1)}{\lambda} & \frac{v}{\lambda} \sin(\varphi - \Lambda_1) & -1 \\ -\frac{\cos(\varphi - \Lambda_2)}{\lambda} & \frac{v}{\lambda} \sin(\varphi - \Lambda_2) & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -\frac{\cos(\varphi - \Lambda_N)}{\lambda} & \frac{v}{\lambda} \sin(\varphi - \Lambda_N) & -1 \end{bmatrix} \quad (53)$$

Die DOPs können wieder aus  $[A^T C_1^{-1} A]^{-1}$  ermittelt werden. Diesfalls sind die DOPs Geschwindigkeits-DOP, Bewegungsrichtungs-DOP und Frequenzversatz-DOP.  $C_1$  ist die unskalierte und ungewichtete Identitätsmatrix von Dimension N.

In einem WLS auf Handapparatbasis ist es erstrebenswert imstande zu sein, ein Zellen-BS als BST zu verwenden und anzuordern, daß ein CT als ein MR wirkt, um die Vorgabe des FCC für E911 zu erfüllen sowie den derzeit 60 Millionen Mobiltelefonteilnehmern in Nordamerika, die Erwartungen zufolge bis zum Jahr 2001 auf 120 Millionen anwachsen sollen, Ortungsdienste anzubieten. Dies könnte jedoch eine Änderung des CT sowie eine Änderung der Zellenfunknormen erfordern. Wenn die erforderlichen Änderungen derzeit existierende CTs ausschließen, wird die Vorgabe des FCC für E911 durch Verwendung eines derartigen Systems nicht erfüllt. Dennoch ist eine Lösung auf Handapparatbasis attraktiv, da sie eine Genauigkeit bietet, welche mit jener vergleichbar ist, die von für Ortungszwecke verwendeten Systemen wie GPS und Loran-C angeboten wird. Aus diesem Grund ist es dennoch akzeptabel, unabhängig von den Vorgaben der FCC Änderungen am CT vorzunehmen.

Einige Änderungen am CT könnten Änderungen der Norm voraussetzen. Wir legen das Schwergewicht auf Änderungen des CT, während wir bemüht sind, die Änderungen der Norm zu reduzieren. Drei Stufen der CT-Modifikation werden wie folgt dargelegt:

1. Modifikation 0, welche keine Modifikation des CT erfordert;
2. Modifikation I, welche nur softwaremäßige Modifikation des bestehenden CT erfordert; und
3. Modifikation II, welche sowohl software- als auch hardwaremäßige Modifikationen des bestehenden CT erfordert.

Eine Hardwaremodifikation des bestehenden CT ist erforderlich, wenn eine erforderliche Änderung in den Signalverarbeitungsalgorithmen nicht softwaremäßig realisiert werden kann. Dies kann auf

- erforderliche Änderungen (z. B. eine Änderung beim HF-Vorfeld, bei den Antennen oder bei den Mischern), welche nicht softwaremäßig realisiert werden können; oder
- auf die Tatsache, daß die digitale Hardware nicht geeignet ist, um manche softwaremäßig realisierten Tasks auszuführen (z. B. wenn ASIC-Chips an Stelle von Allzweck-DSP-Chips in den bestehenden CTs verwendet werden)

zurückzuführen sein.

Es wird hier vorgeschlagen, Modifikation 0, I und II gegenüber den bestehenden Verfahren zu verbessern.

Diesfalls fußen die bestehenden Verfahren nur auf Pilotsignalen, welche von Zellensektoren ausgesendet werden, um den CT zu orten. Insbesondere beschreiben die bestehenden Verfahren eine typische Operation eines CT, welcher nach Piloten sucht und deren TOAs ermittelt. Allerdings ist diese Normalbetriebsart eines CT ausgebildet, die Leistung des CT beim Empfangen von Datensignalen zu maximieren und die Kommunikationsleistung (d. h. Kapazität des Systems, Zuverlässigkeit der Datenübertragung usw.) zu maximieren. Verbesserung 0 bringt Ortungszustand 0, welchen das CT immer dann einnimmt, wenn es in Modifikation 0 aufgefördert wird, sich zu orten. Ortungszustand 0 optimiert mehrere Konstruktionsparameter in Modifikation 0 wie folgt:

#### Verbesserung 0

Das üblichste Verfahren zum Schätzen der TOAs, POAs, Eintreffstärke (SOAs) und FOAs von empfangenen Signalen am MR umfaßt das Korrelieren eines empfangenen Signals mit einer reinen Version von sich selbst. Herkömmliche Verfahren sind nicht imstande, Korrelationsspitzen über die herkömmliche Zeitdomänen-Rayleigh-Auflösung hinaus aufzulösen. Des weiteren wählen herkömmliche Verfahren entweder die höchste Korrelationsspitze über einer bestimmten Schwelle oder die Spitze, welche dem ersten Eintreffen über einer bestimmten Schwelle entspricht. Über einen Mehrwegkanal ist es möglich anzunehmen, daß die erste Spitze über einer bestimmten Schwelle der richtigen Spitze entspricht, allerdings können Aliasing, Rauschen und Interferenz bewirken, daß unerwünschte Spitzen zeitlich noch vor der richtigen Spitze auftreten. Es ist eine Aufgabe von Improvement 0,

1. die Schwelle, welche beim Auswählen der Korrelationsspitze verwendet wird, zu optimieren; und
2. die Liste von BSs, welche zur Korrelation in Betracht gezogen werden, zu optimieren.

Eine derartige Optimierung beruht auf dem Minimieren der HDOP. Die optimierten Parameter: Schwelle und Liste von BSs, werden daraufhin immer dann zum CT übertragen, wenn gewünscht wird; Ortungszustand 0 einzunehmen. In einem derartigen Zustand wird das CT gezwungen, mehr Signale von mehr BSTs zu empfangen, um HDOP zu reduzieren. Der Optimierungsprozeß kann wie folgt erläutert werden. Damit das CT mehr Signale empfängt, muß seine Schwelle gesenkt werden. Eine niedrigere Schwelle zwingt jedoch das CT dazu, schwache Signale anzunehmen. Dies führt zu schwachen SNR-Signalen, welche unter Mehrwegführung und Interferenz leiden könnten. Um HDOP zu minimieren und gleichzeitig die Wirkung von Rauschen und Mehrwegführung zu reduzieren, besteht der Optimisiervorgang aus Lösen für die Position des MR unter Verwendung der Kleinstquadrate, gewichtet nach dem individuellen RSSI von jedem empfangenen Signal.

Bei Modifikation I erfordern bestehende Verfahren ein großes Maß an Änderung von Normen. Verbesserung I erfordert hingegen keine Änderung von Normen. Sie zwingt das CT, den Ortungszustand I einzunehmen:

Diese besteht aus der Verwendung der SR- und inversen SR-Algorithmen über die Korrelationsfunktion (welche durch Korrelieren der empfangenen Signale an sowohl MR und RR mit einer reinen Version von diesen selbst erhalten wird),  
 5 um:

1. die Korrelationsspitzen über die herkömmliche Zeitdomänen-Rayleigh-Auflösung hinaus aufzulösen; und um
2. die Verwendung einer Schwelle beim Auswählen der Korrelationsspitze zu vermeiden.

10 Ein wichtiges Merkmal beim inversen SR-Algorithmus ist die Tatsache, daß dieser im allgemeinen eine Reihe von Korrelationsspitzen erzeugt:

- eine Spitze, welche dem Direktpfadsignal entspricht, sowie,
- eine Reihe unerwünschter Spitzen, die durch Rauschen, Aliasing, Mehrwegeführung und Interferenz verursacht  
 15 werden, welche die richtige Spitze umgeben.

Anstatt eine Schwelle zu verwenden, besteht Ortungszustand I aus dem Auswählen der Korrelationsspitze, welche das kleinste Residuum erzeugt, wenn eine gewichtete Kleinstquadratoperation in bezug auf alle möglichen Korrelations-  
 20 spitzen durchgeführt wird, die sich aus dem Superauflösen der Korrelationsfunktionen ergeben, welche aus dem empfangenen Signalen unter Verwendung des inversen SR-Algorithmus erzeugt werden. Es ist ebenso eine Aufgabe von Ortungszustand I, die Liste von BSs, welche für die Korrelation berücksichtigt werden, auf der Grundlage des Minimierens von HDOP zu optimieren.

In Modifikation II erfordern bestehende Verfahren ein großes Maß an Änderung von Normen sowie Änderung von CTs. Insbesondere besteht sie aus dem Empfangen von GPS-Signalen, zum Teil am CT und zum Teil am RR. Anstatt-  
 25 dessen werden in Modifikation II mehrere Verbesserungen gegenüber bestehenden Verfahren angeboten:

- Sie gestattet dem CT, zwischen dem Empfang von Zellsignalen oder dem Empfang nichtzellulärer Signale (beispielsweise GPS, Loran-C usw.) oder beiden auszuwählen;
- Sie gestattet dem CT, Verbesserung 0 und/oder Verbesserung I zu verwenden, d. h. Ortungszustand 0 und/oder  
 30 Ortungszustand I einzunehmen;
- Sie gestattet dem CT, die Trägerphase der empfangenen Signale zur TDOA-Ortung zu verwenden;
- Sie gestattet dem CT, AOA für GPS/Loran-C zu verwenden;
- Sie gestattet dem CT, durch Verwendung von nur zwei unabhängigen BSs, mit einem Minimum von zwei Sektoren je BS, bei Verwendung von AOA-Schätzung, sich selbst zu orten;
- 35 - Sie gestattet dem CT, Dualfrequenzempfänger für GPS zu verwenden;
- Sie gestattet dem CT, Pseudolite bei GPS zu verwenden;
- Sie gestattet dem CT, erweitertes Zellen-GPS zu verwenden;
- Sie gestattet dem CT, Kurznachrichten entweder zum Übertragen seiner Positionsdaten oder zum Empfangen der Referenzinformationen zu verwenden, um nicht netzabhängig zu sein;
- 40 - Sie gestattet dem CT, Positionsdaten von sowohl GPS als auch Zellsignalen zu kombinieren. Nur GPS erfordert vier Satelliten, um für (x,y,z) und den Taktfehler des CTs zu lösen. Nur der Mobilapparat erfordert drei BSs, um für (x,y) und den Taktfehler des CTs zu lösen. Beim Kombinieren von GPS-Gleichungen mit Zellfunkgleichungen benötigen wir insgesamt vier Gleichungen, da wir noch immer vier Unbekannte haben: x, y, z und den Taktfehler des CTs. Eine mögliche Alternative ist, z durch die Höhe der BSs zu ersetzen. Dies kann jedoch einen Fehler in  
 45 die Schätzung für x und y einschleusen.

#### Beschreibung eines IS-95 CT, welches Pilotsignale empfängt

50 Hier wird vorgeschlagen, einen IS-95-Empfänger zu verwenden, welcher die TOA von mehreren Pilotsignalen zur Verwendung beim Schätzen der Lage des Empfängers mißt. Dieser Empfänger kann durch Modifikationen des Betriebs einer breiten Vielfalt von CDMA-Empfängern, einschließlich CDMA CTs, hergestellt werden.

Ein IS-95 CT wird gesteuert, um Ortungszustand 0 oder Ortungszustand I einzunehmen, durch einen Befehl, der von:

- 55 1. einem entfernt gelegenen Standort empfangen wird,
2. einen vom Benutzer des CT empfangenen Befehl, oder
3. durch andere vorgegebene Umstände, beispielsweise Initialisierung beim Hochfahren oder Ursprung eines CT.

#### Nach Einnehmen des Ortungszustands 0 oder I

- 60 1. stellt das CT eine Liste von Piloten zusammen, nach denen gesucht werden soll (1011), wie aus Fig. 10 hervorgeht. Diese Liste kann aus einer Kombination des aktiven Satzes des CT, seines Nachbarsatzes, seines verbleibenden Satzes und einer Liste von Piloten, welche in einer Nachricht von einer entfernt gelegenen Quelle angegeben werden, welche vom CT empfangen wird, gebildet werden.
- 65 2. Der Vorgang des Suchens nach Piloten und des Zuteilens eines Demodulatorfingers, um eine verfeinerte TOA-Schätzung zu erhalten, wird für jeden Pilot in der Pilotsuchliste ausgeführt. In den Blöcken (1012), (1013), (1014), (1015), (1016), (1017) und (1018) stellt P einen der Piloten aus der Liste dar. Block (1012) initialisiert P auf den er-

sten Piloten in der Suchliste.

3. Ein Sucherelement wird beauftragt, im empfangenen Signal nach Pilot P zu suchen (1013). Ein Fenster von PN-Versatzwerten (Start und Ende, oder Mitte und Breite) wird dem Sucher vorgegeben. Der Sucher berechnet daraufhin die empfangene Energie von Pilot P an mehreren Verzögerungsversatzwerten innerhalb des Suchfensters. Bei der bevorzugten Ausführungsform sind diese Verzögerungsversatzwerte ein halbes Chip (0,4069 Mikrosekunden) voneinander beabstandet. Für jeden Verzögerungsversatz akkumuliert der Sucher empfangene Pilotenergie während einer vorgegebenen Zeitdauer (0,5 ms bei der bevorzugten Ausführungsform).

4. Die Suchergebnisse werden auf Anzeichen für den Empfang eines Pilotsignals von ausreichender Qualität überprüft (1014). Bei der bevorzugten Ausführungsform wird das Verhältnis der durchschnittlichen Pilotchipenergie zur empfangenen Gesamtenergie (als  $E_c/I_0$  bezeichnet) an jedem Verzögerungsversatz berechnet. Fig. 11 zeigt einen möglichen Satz von Werten für Suchergebnisse. In diesem Beispiel tritt in der Nähe von Verzögerungsversatz 7 eine erhebliche Pilotenergie auf. Der Pilot  $E_c/I_0$  an jedem Verzögerungsversatz wird mit einem Schwellwert (-15 dB bei der bevorzugten Ausführungsform) verglichen. Überschreitet der  $E_c/I_0$  an einem oder mehreren Verzögerungsversatzwerten die Schwelle, so wird der früheste derartige Verzögerungsversatz als erste Schätzung der Eintreffzeit des Piloten verwendet. Wird die Schwelle an keinem der Verzögerungsversätze überschritten, so wird ermittelt, daß der Pilot nicht erfaßt wurde.

5. Wurde der Pilot P erfaßt, so wird dem Piloten P ein Demodulatorfinger am ersten Schätzwert der Eintreffzeit des Piloten zugeordnet (1015). Dem Finger wird gestattet, den Pilot P während eines Zeitraums (2 ms bei der bevorzugten Ausführungsform) zu verfolgen, wonach

6. der Verzögerungsversatz des Fingers gewonnen und als Eintreffzeit von Pilot P gespeichert wird (1016).

7. Nachdem der Sucher die Suche nach Pilot P abgeschlossen hat, wird P dem nächsten Piloten in der Liste zugeteilt (1017), (1018).

8. Nach Durchgehen der Liste werden die Suchresultate zusammengestellt (1019), für weiteres Verarbeiten oder Übertragen zu einem entfernt gelegenen Ort.

Fig. 10 zeigt Schritte, welche sequentiell ausgeführt werden. Manche Schritte könnten parallel ausgeführt werden. Insbesondere kann der Sucher die Suche nach einem anderen Piloten beginnen, während ein Demodulatorfinger einen zuvor gefundenen Piloten verfolgt.

Ist die Zeitreferenz des CT nicht hinlänglich stabil, kann ein Demodulatorfinger einem Piloten zugeordnet werden, während andere Piloten von anderen Fingern gesucht und verfolgt werden, um eine bekannte Zeitreferenz aufrechtzuerhalten.

Ein Demodulatorfinger kann einen Piloten unter Verwendung einer verzögerungsvernegelten Schleife verfolgen, wie in US-Patent 5,764,687 beschrieben wird. Dies führt dazu, daß sich der Finger zur Spitze des Eintreffens des Piloten bewegt. Verbesserte Leistung kann dadurch erreicht werden, daß ein Finger zu einer vorbestimmten  $E_c/I_0$ -Schwelle an der ansteigenden Flanke der Pilotenergie relativ zum Verzögerungsversatz nachgeführt wird.

### Signalverarbeitung

Der Ortungsbetrieb wird am Host durchgeführt, welcher entweder innerhalb des MR (Option I) oder vom MR (Option II und III) abgesetzt (z. B. innerhalb des RR oder eines TR) angeordnet sein kann. Bei Option II und III wird vorgezogen, soviel des Verarbeitens wie möglich am MR durchzuführen, um die Menge an Informationen, welche vom MR zum Host übertragen werden, zu reduzieren. Wenn beispielsweise TDOA zum Orten verwendet wird, ist es vorzuziehen, die TOA eines empfangenen Signals,  $r_i(t)$ , welches vom i-ten BST übertragen wird, am MR zu messen. Dasselbe gilt für PDOA und FDOA. Im Fall der TOA und der POA besteht die erforderliche Verarbeitung aus dem Korrelieren des empfangenen Signals mit einer reinen Version von  $p_i(t)$  und dem Senden der Informationen, welche die Korrelationsspitzen betreffen, zum Host. Im Fall der FOA besteht die erforderliche Verarbeitung aus dem Korrelieren des empfangenen Signals mit mehreren reinen Versionen des  $p_i(t)$  auf verschiedenen Frequenzen und dem Senden der Informationen, welche die Korrelationsspitzen betreffen, zum Host.

Die Korrelationsspitzen zwischen  $r_i(t)$  und einer reinen Version von  $p_i(t)$  können unter Verwendung von SR-Algorithmen supraaufgelöst werden. Es ist mitunter vorzuziehen, die SR-Algorithmen am Host und nicht am MR durchzuführen, da dies eine Reihe rechenintensiver Operationen erfordert, welche einfacher am Host als am MR entwickelt werden können. Dies bedeutet, daß die Korrelationsspitze zum Host übertragen werden muß, welche keine große Menge an Informationen darstellt und einfach zum Host übertragen werden kann.

Um in der Lage zu sein, das empfangene Signal,  $r_i(t)$ , am MR zu korrelieren, muß zuvor eine reine Version von  $p_i(t)$  am MR verfügbar sein. Um ein Korrelieren von  $r_i(t)$  mit  $p_i(t)$  zu vermeiden, kann eine beliebige der beiden folgenden Vorgangsweisen verwendet werden:

#### Vorgangsweise I

1. Filtern des gesamten empfangenen Signals;
2. Heraustrennen der Phase eines vorhandenen Tons. In diesem Fall sind TOA- und AOA-Informationen in der Phase des Tons enthalten, während die FOA-Informationen in der Frequenz des Tons enthalten sind und durch Verwendung von Vorgangsweise III (siehe unten) herausgetrennt werden können.

#### Vorgangsweise II

1. Filtern des gesamten empfangenen Signals;
2. Ausführen einer nichtlinearen Operation bezüglich des gefilterten Signals;

3. Heraustrennen der Phase eines Tons, welcher durch die nichtlineare Operation aus Schritt 2 generiert wird. In diesem Fall sind TOA- und AOA-Informationen in der Phase des Tons enthalten, während die FOA-Informationen in der Frequenz des Tons enthalten sind und durch Verwendung von Vorgangsweise III (siehe unten) herausgetrennt werden können.

Die nichtlineare Operation in Vorgangsweise II kann entweder eine quadratische Operation (z. B. Quadrieren des Signals), eine Verzögerungsproduktoperation (d. h. Multiplizieren des Signals mit einer verzögerten Version von sich selbst) oder jedwede andere geeignete nichtlineare Operation sein.

Vorgangsweise I und II können beide zum Erfassen des Signals und zum Schätzen seiner TOA verwendet werden. Dies wird durch Stempeln der Zeit unter Verwendung eines zuverlässigen Taktgebers entweder am Beginn generierten Tons oder Erhalten des Zeitstempels am Ende des Beobachtungsfensters (Letzteres wird bevorzugt) bewerkstelligt.

Vorgangsweise I und II können durch Auflösen des vorhandenen oder generierten Tons unter Verwendung von SR- und inversen SR-Algorithmen verbessert werden. Überdies kann das in Schritt 1 von Vorgangsweise II erforderliche Filtern in der digitalen Domäne ausgeführt werden, um die Auswirkung der Temperatur und der Alterung auf die Gruppenlaufzeitvariation zu reduzieren.

Vorgangsweise I und II können verbessert werden, indem sie mehrere Male wiederholt werden und daraufhin entweder die Lageinformationen gemittelt oder die TDOA, PDOA oder FDOA zwischen Paaren aus BSTs gemittelt werden.

Ein alternatives Verfahren zum Verbessern von Vorgangsweise I und II sieht vor, die Beobachtungsdauer,  $T_i$ , des empfangenen Signals,  $r_i(t)$ , erheblich zu erhöhen, um dadurch das Empfangs-SNR zu erhöhen. Um in der Lage zu sein,  $T_i$  beliebig zu erhöhen, muß  $p_i(t)$  am MR verfügbar sein. Ein wichtiges Merkmal in Vorgangsweise II ist die Tatsache, daß das Signal  $r_i(t)$ , welches vom  $i$ -ten BST gesendet wird, kein deterministisches Signal sein muß, d. h. es muß keine reine Kopie des Signals am MR verfügbar sein. Ein gleichermaßen wichtiges Merkmal in Vorgangsweise II ist die Tatsache, daß die Wahrscheinlichkeit der Ortung 100% beträgt, nicht wie bei Vorgangsweise I, wo sie unter 100% liegt. Dies führt zur Tatsache, daß bei Vorgangsweise II das Erhöhen der Beobachtungsdauer,  $T_i$ , verschiedenen Situationen Rechnung tragen kann. Beispielsweise kann in ländlichen Gebieten, wo die Zellen groß sind, das SNR durch Vergrößern der Beobachtungsdauer vergrößert werden. Oder es ist analog dazu, wenn die Geometrie nicht gut ist (d. h. HDOP ist groß, z. B. Bundesstraße), möglich, es durch Vergrößern der Beobachtungsdauer und somit Erhöhen der Anzahl von BSTs, welches das Signal  $r_i(t)$  mit einem angemessenen Pegel empfangen, zu verbessern. Die Beobachtungsdauer wird somit vorzugsweise mit Bezug auf das SNR und die HDOP optimiert. Zusätzlich zum Reduzieren der HDOP durch Erhöhen der Anzahl von BSTs führt dies auch zur Reduktion der Auswirkung von Mehrwegeführung, insbesondere in städtischen Zentren.

Um die Auswirkung von Inband-Interferenz auf die Phase des gewünschten Tons zu reduzieren, werden Schmalbanddigitalfilter mit einer Bandbreite von einigen Hertz verwendet (z. B. Filter auf Fourier-Transformationsbasis, Filter auf gleitender Fourier Transformationsbasis, IIR-Filter, FIR-Filter usw. . . .). Das Filter auf Fourier Transformationsbasis weist eine Bandbreite auf, welche eine Funktion der Beobachtungsdauer,  $T_i$  ist. Das IIR-Filter weist eine stationäre Ansprechzeit auf, welche eine Funktion von  $T_i$  ist. Mit anderen Worten: die Beobachtungsdauer,  $T_i$ , muß ausgewählt werden, um das SNR (es wird erhöht) gegenüber der Bandbreite des Filters (sie wird verringert) gegenüber der Ansprechzeit des Drahtlosortungssystems (sie wird minimiert) zu optimieren.

Um die Auswirkung der Mehrwegeführung,  $MP_i(t)$ , auf die Leistung eines kinematischen Drahtlosortungssystems zu verringern, ist es erstrebenswert, die verschiedenen Doppler-Frequenzen  $\delta f_i$  (welche verschiedenen TOAs und verschiedenen AOAs entsprechen) aufzulösen und die Frequenz zu wählen, welche dem ersten Eintreffen entspricht. Das Verfahren des Auflörens der verschiedenen Frequenzen kann unter Verwendung von SR-Algorithmen erfolgen.

#### Hardware

Um Modifikation II gegenüber dem Stand der Technik zu verbessern, sollte versucht werden,

1. Folgendes zu verringern oder zu vermeiden:

- Verstärkungsungleichgewicht;
- Phasenungleichgewicht;
- Trägerdurchschleifung; und
- DC-Offset,

2. imstande zu sein, dasselbe HF-Vorfeld für alle Normen (analog oder digital) über ein Fixband zu verwenden; und

3. Außerband-Interferenzquellen (z. B. Paging, Bündelfunk usw.) durch Verwendung digitaler Filter im digitalen Signalprozessor (DSP) zu unterdrücken.

Um die drei oben genannten Zielsetzungen zu erreichen wird vorgeschlagen, einen linearen ZF-Abtastempfänger für den MR oder für den RR oder für beide zu verwenden. Ein derartiger ZF-Abtastempfänger ist ausgebildet, um hohe Unterdrückung, geringe Gruppenlaufzeitvariation und gute Empfindlichkeit aufzuweisen. Um hohe Unterdrückung mit guter Empfindlichkeit aufzuweisen, ist der Empfänger ausgebildet, Folgendes aufzuweisen (siehe Fig. 8):

#### Konstruktion I

1. Eine Reihe von Zwischenfrequenz(ZF)-Stufen (810), welche das empfangene HF-Signal  $Re\{r_i(t)\exp(j2\pi f_c t)\}$  (801) in ein ZF-Signal (807) mit der ZF-Frequenz  $f_1$  konvertieren. Initialunterdrückung wird bei ZF durch Verwendung eines ZF-Bandpaßfilters (BPF) (802), gefolgt von einem HF-Verstärker (803) für gute Empfindlichkeit, erreicht. Folgeunterdrückungen werden an jeder ZF-Stufe, welche aus einem Mischer (804), gefolgt von einem Zwischenfrequenz(ZF)-BPF-Filter (805) und einem ZF-Verstärker (806), bestehen, erreicht.
2. Ein Prealiasingfilter (811) ist dem Analog/Digital-Wandler (812) vorgelagert, welcher das ZF-Analogsignal in



ein ZF-Digitalsignal umwandelt. Die Abtastrate soll unter der Nyquist-Rate liegen, um aliasierte Kopien des ZF-Signals (807) nahe einer niedrigeren digitalen ZF,  $f_2$ , zu erzwingen.

3. Digitale Filter (813), welche Rauschen und Interferenz außerhalb der digitalen ZF-Bandbreite unterdrücken.
4. Ein digitaler Abwärtswandler (DDC) (804), welcher das (reelle) digitale ZF-Signal in ein (komplexes) digitales Basisbandsignal (optionell) konvertiert.

Um eine niedrige Gruppenlaufzeitvariation zu erhalten, wird die folgende Vorgangsweise vorgeschlagen:

#### Vorgangsweise III

1. Schätzen des Trägersversatzes (818), (infolge von Doppler,  $\delta f_i$ , und infolge des LO-Versatzes,  $\Delta f_i$ ) des Signals  $r_i(t)$  (801) unter Verwendung des digitalen Signalprozessors (DSP) (817).
2. Einstellen der lokalen Oszillatoren (808) im Empfänger entsprechend dem MR während des Empfangs von  $r_i(t)$  (801) auf der Grundlage des geschätzten Trägersversatzes (818) in oben genanntem Schritt 2.

#### Erläuterung von Vorgangsweise III

Da die Gesamtgruppenlaufzeit,  $\Delta t_i$ , eine Funktion der Frequenz ist, kann sie von einer Frequenz zur anderen beträchtlich schwanken. Des weiteren kann nach Maßgabe der AMPs-Norm,  $\Delta f_i$  ganze 2 kHz betragen. Aus diesem Grund ist es von Bedeutung, zu bewirken, daß  $\Delta f_i$  vom Trägersversatz,  $\Delta f_i + \delta f_i$  unabhängig ist. Dies wird durch Schätzen des Trägersversatzes,  $\Delta f_i + \delta f_i$ , in Schritt 1 von Vorgangsweise III und Entfernen desselben in Schritt 2 von Vorgangsweise III vor dessen Verarbeitung zu Ortungszwecken erreicht. Mit anderen Worten: Schritt 1 und 2 zwingen die Gesamtgruppenlaufzeit,  $\Delta t_i$ , konstant zu bleiben, wodurch auf Frequenzversätze zurückzuführende Gesamtgruppenlaufzeitvariationen reduziert werden. Um auf Temperatur und Alterung im RR zurückgehende Gesamtgruppenlaufzeitvariationen zu reduzieren, muß am RR regelmäßig ein Kalibriervorgang durchgeführt werden.

#### Anmerkungen

1. In Vorgangsweise III kann Schritt 1 unter Verwendung einer diskreten Trägerrückgewinnungsschleife (CRL), welche in Vorgangsweise IV (siehe unten) beschrieben wird, durchgeführt werden.
2. In Vorgangsweise III kann Schritt 2 unter Verwendung eines direkten Digitalsynthesizers (DDS) (809) durchgeführt werden.

Die diskrete Trägerrückgewinnungsschleife besteht aus mehreren Schritten, welche mehrere Male wiederholt werden, bis ein zufriedenstellender Leistungspegel erreicht wird:

#### Vorgangsweise IV

1. Digitales Signalverarbeiten des abgetasteten IF-Signals (814 oder 816) unter Verwendung des DSP (817), um eine adäquate objektive Funktion,  $f_{obj}$ , abzuleiten.
2. Wenn  $f_{obj}$  auf innerhalb einer bestimmten Zwangsbedingung optimiert wird, Stoppen der Schleife, andernfalls:
3. Suchen nach einem neuen Frequenzversatz (818);
4. Einstellen des LO (808) mittels des neuen Frequenzversatzes (818) und
5. Rückkehr zu Schritt 1.

In Vorgangsweise IV kann Schritt 3 unter Verwendung eines Suchalgorithmus vom Gradiententyp oder jedwedes anderen geeigneten Suchalgorithmus durchgeführt werden.

In Vorgangsweise IV kann Schritt 4 unter Verwendung von entweder nur einem DDS (809) oder einem DDS und einem digitalen Abwärtswandler (DDC) (815) durchgeführt werden. Wenn nur ein DDS (815) in Schritt 4 verwendet wird, so verarbeitet Schritt 1 in Vorgangsweise IV ein neues Segment des Signals,  $r_i(t)$ , bei jeder Iteration. Wenn ein DDS (809) und ein DDC (815) in Schritt 4 verwendet werden, so verarbeitet Schritt 1 in Vorgangsweise IV dasselbe gespeicherte Segment des Signals,  $r_i(t)$ , bei jeder Iteration, bis der DDS (809) verwendet wird. Es wird vorgezogen, sowohl den DDC als auch den DDS zu verwenden, um die Auswirkung von endlicher Präzisionsarithmetik auf den Schätzvorgang zu reduzieren.

Im Fall, bei dem Konstruktion I keinen Schritt 4 enthält, kann der DSP (817) in Schritt 1 von Vorgangsweise IV der Trägerrückgewinnungsschleife aus einem digitalen Kerbenfilter bestehen, welcher an der gewünschten ZF-Frequenz  $f_2$  zentriert ist, dessen Ansprechleistung zu minimieren ist, d. h.  $f_{obj}$  ist das Ansprechen des digitalen Kerbenfilters. Diesfalls kann das Kerbenfilter bestehen aus

1. einem ersten digitalen Bandpaßfilter, welches an der  $f_2 +$  Frequenz des gewünschten Tons zentriert ist, und
2. einem zweiten digitalen Bandpaßfilter, welches an der  $f_2 -$  Frequenz des gewünschten Tons zentriert ist.

Die Bandpaßfilter können unter Verwendung (reeller) digitaler Biquadratfilter implementiert werden.

Alternativ dazu kann der DSP (817) in Schritt 1 in Vorgangsweise IV der Trägerrückgewinnungsschleife aus einem digitalen Bandpaßfilter bestehen, das an der gewünschten ZF-Frequenz  $f_2$  zentriert ist, dessen Ansprechleistung maximiert werden soll, d. h.  $f_{obj}$  ist das Ansprechen des Bandpaßfilters. Diesfalls kann das BPF als ein (komplexes) digitales IIR-Filter 1. (oder höherer) Ordnung implementiert werden.

Im Fall, in dem Konstruktion I Schritt 4 enthält, ist das zu verarbeitende Signal ein Basisbandsignal (816) und das di-

gitale BPF wird ein einfaches (komplexes) LPF. Ein Beispiel für ein derartiges LPF ist ein Mittelwertbildungsfilter, welches während des Beobachtungsintervalls alle reellen Abtastwerte summiert und alle imaginären Abtastwerte summiert.

Um die Wirkung von Taktfehlern und LO-Versatz (oder -Drift),  $\Delta f_1$ , zu reduzieren, wird eine gemeinsame Referenz für alle LOs und für alle Takte verwendet. Eine geeignete gemeinsame Referenz für die LOs und für die Takte kann aus dem

5 GPS-Signal abgeleitet werden.

Vorausgesetzt, daß entweder alle LOs in den BSTs eine gemeinsame Referenz haben, was bedeutet, daß

$$\Delta f_1 = \Delta f_2 = \Delta f_3 = \Delta f$$

10 in Gleichungen (32), oder daß der RR  $\Delta f_1$ ,  $\Delta f_2$ ,  $\Delta f_3$  schätzt, damit diese entfernt werden, ist es möglich, die Geschwindigkeit,  $v$ , in bezug auf die BSTs und die Bewegungsrichtung (DOT),  $\phi$ , des MR aus den Trägerversatzwerten zu schätzen, welche aus Vorgangsweise V an jedem BS unter Verwendung der diskreten Trägerrückgewinnungsschleife geschätzt werden. Dies kann durch Verwendung der Eintrefffrequenzdifferenz (FDOA) zwischen jedem Paar von BS bewerkstelligt werden, wie in Gleichungen (33) zum Ausdruck gebracht wird.

15

#### Kalibrierverfahren am RR

Es wird bevorzugt, die Verwendung der RRs zu minimieren, um Kosten und Komplexität eines WLS auf Handapparatbasis zu reduzieren. Es ist erwünscht, ein Drahtlosortungssystem (WLS) auf Handapparatbasis herzustellen, wobei ein MR, ohne einen RR zu erfordern, geortet werden kann. Dies wird durch Betrachten eines Senders in einem bestehenden Zellsektor als BST erreicht. Der Vorteil ist, daß ein derartiger Sektor für gewöhnlich auf andere Sektoren, welche zu demselben BST gehören, zeitreferenziert wird, d. h. Sektoren in demselben BS werden mehr oder weniger miteinander synchronisiert. Dies bedeutet, daß der MR den AOA von Signalen, welche von derartigen Sektoren gesendet werden, ohne einen RR zu benötigen, schätzen kann. Überdies kann der MR seinen Standort durch Verwenden von lediglich zwei unabhängiger BSs auf der Grundlage des individuellen geschätzten AOA von jedem BS, ohne einen RR zu benötigen, schätzen.

Ein Drahtlosortungssystem muß vor dem Betrieb (und gelegentlich während des Betriebs) kalibriert werden, um die Auswirkung der Gesamtgruppenlaufzeit,  $\Delta t_g$ , an jedem RR zu entfernen. Überdies können Temperatur und Alterung bewirken, daß sich die Gesamtgruppenlaufzeit im Lauf der Zeit ändert. Daher ist es erforderlich, den RR regelmäßig zu kalibrieren. Ein Verfahren zum Kalibrieren eines RR ist folgendes:

30

#### Vorgangsweise V

1. Übertragen von Signalen zu exakten Zeitintervallen von einem Sender an einem bekannten Standort zum RR über mehrere Frequenzbänder. Sowohl der RR als auch der Sender müssen auf dieselbe Taktquelle referenziert werden;
2. Charakterisieren des Frequenzgangs des RR;
3. Schätzen der Laufzeit zwischen dem Sender und dem RR;
4. Schätzen der Gruppenlaufzeit des RR.

35

Vorgangsweise V kann mehrere Male wiederholt werden, um die relative Gruppenlaufzeit über den Zeitverlauf zu mitteln. Um die Aufstellungskosten eines Senders an bekannten Standorten zu reduzieren, wird ein MR in der Nähe des RR aufbewahrt. Dies ermöglicht die automatische Kalibrierung, ohne Eingreifen durch Personen zu erfordern, indem der MR gezwungen wird, als Sender zu wirken.

40

Um die relativen Gruppenlaufzeitvariationen zwischen Kalibrierintervallen zu minimieren wird empfohlen, SAW-Filter als BPF (803, 805, 811) in Fig. 8 zu verwenden. Es wird auch empfohlen, die SAW-Filter (803, 805, 811) in einem Metallblock anzuordnen, um Biegeeffekte infolge von Temperaturschwankungen zu minimieren.

45

#### Host-Software

50 In Anbetracht einer Reihe von Ortungsalgorithmen und einer Reihe von Verfahren zur Blunder-Erkennung wird die Ortungsstrategie verwendet, welche in Fig. 9a, 9b, 9c und 9d abgebildet ist. Fig. 9 veranschaulicht die bevorzugte Ausführungsform zum Bereinigen der beobachteten TOAs, derart, daß die Summe aus den Quadraten der Residuen ein Minimum ist. Andere Verfahren zum Bereinigen des Beobachteten gemäß einiger Optimierkriterien sind verfügbar, u. a.:

55

- allgemeine erwartungstreue Mindestvarianzschätzung,
- beste lineare erwartungstreue Schätzung
- Maximalwahrscheinlichkeitsschätzung,
- Momentenmethode,
- Allgemeine Bayessche Schätzung,
- Lineare Bayessche Schätzung,
- Kalman-Filtern usw.

60

Der Ortungsvorgang beginnt mit einem Satz von TOA-Beobachtungen von mindestens drei BSs. Wenn nur drei TOAs verfügbar sind (901), erfolgt eine Prüfung auf Lösungsbinärverzweigung (902). Im Fall von Lösungsbinärverzweigung wird der LOCA-Algorithmus (903) bezüglich der TOA-Beobachtungen ausgeführt, was zwei Lösungen ergibt. Diese beiden Lösungen werden jeweils als Ausgangsposition für Kleinstquadrate (904 und 905) verwendet, was zu zwei Kleinstquadratlösungen für den MR führt. Der Kleinstquadratalgorithmus hier und in allen anderen Teilen von Fig. 9 ist

65

Hybrid-TDOA-Orten, wobei die Empfangssignalstärke verwendet wird, um die einzelnen BS-Beobachtungen zu gewichten. Während jeder Iteration von Kleinstquadrate werden Abschlußfehler für jeden BST berechnet. Wenn irgendein Abschlußfehler ein Mehrfaches des Effektivwertes des gesamten Satzes von Abschlußfehlern überschreitet, so werden der entsprechende BST und ihre TOA nicht mehr innerhalb jener konkreten Ausführung von Kleinstquadrate verwendet.

Wenn beide Kleinstquadratellösungen (904 und 905) konvergieren (906), jedoch nicht gleich sind (907), wird angenommen, daß Kleinstquadrate zu den beiden möglichen Lösungen konvergierte, und beide Kleinstquadratellösungen werden als mögliche Lösungen für den MR (908) gemeldet. Wenn eine beliebige der beiden LS-Lösungen divergieren (906) oder die konvergierenden Lösungen gleich sind (907), werden die beiden LOCA-Lösungen von (903) als mögliche Positionen des MR (909) gemeldet.

Wenn an (902) festgestellt wird, daß keine Binärverzweigung vorliegt, wird LOCA neuerlich ausgeführt (910), ergibt jedoch nur eine Lösung. Diese Lösung wird als die Ausgangsposition in Kleinstquadrate (911) verwendet.

Wenn Redundanz vorliegt (901), wird Ebenenschnitt (912) (oder jedweder andere in geschlossener Form darstellbare Positionsschätzalgorithmus) ausgeführt. Die resultierende Lösung wird als Ausgangsposition für Kleinstquadrate (913) verwendet. An diesem Punkt erfolgt eine Überprüfung, ob Kleinstquadrate (913 oder 911) konvergierte (914). Falls Kleinstquadrate konvergiert, wird eine andere Überprüfung auf Beobachtungsredundanz durchgeführt (915). Falls keine Redundanz vorliegt, wird die Kleinstquadratellösung als Positionsschätzwert des MR gemeldet (923). Falls Redundanz vorliegt, werden die normalisierten Residuen statistisch auf Normalität überprüft (916). Die Kleinstquadratellösung wird gemeldet (923), sollten alle Residuen bestehen. Versagen irgendwelche Residuen, so werden die Redundanzzahlen der versagenden Beobachtungen überprüft (917). Die Redundanzzahl der i-ten Beobachtung wird definiert als

$$g_i = (C_r C_i^{-1})_{ii} \quad (52)$$

wobei  $C_r$  die Kovarianzmatrix der Residuen ist und definiert wird als

$$C_r = C_1 - A[A^T C_1^{-1} A]^{-1} A^T \quad (53)$$

Sollten alle versagenden Beobachtungen Redundanzzahlen aufweisen, die kleiner als eine gewisse Schwelle (vorzugsweise liegt diese Schwelle bei 0,5) sind, wird die Kleinstquadratellösung als MR-Positionsschätzwert gemeldet (923).

Falls Beobachtungen mit versagenden Residuen Redundanzzahlen größer als die Schwelle (917) aufweisen, wird jene Beobachtung mit einer Redundanzzahl, die größer als die Schwelle ist, und mit dem größten standardisierten Residuum dauerhaft vom Beobachtungssatz entfernt (928). Die Ausgangsposition, welche für die vorherige Ausführung der Kleinstquadrate verwendet wurde, wird gespeichert (929) und in Kleinstquadrate mit dem abgestrichenen Beobachtungsdatensatz wiederverwendet (930 oder 931).

Sollte Kleinstquadrate nun divergieren (932), so wird die vorherige Kleinstquadratellösung, welche konvergierte, als Positionsschätzwert des MR gemeldet (936). Falls Kleinstquadrate konvergiert (932) und keine Redundanz vorliegt (933), wird die jüngst konvergierende Kleinstquadratellösung gemeldet (936). Falls Redundanz vorliegt (933), werden die standardisierten Residuen auf Normalität geprüft (934). Sollten alle Residuen bestehen, wird die jüngst konvergierende Kleinstquadratellösung gemeldet (936). Andernfalls, wenn alle versagenden Beobachtungen Redundanzzahlen aufweisen, die kleiner sind als eine bestimmte Schwelle (vorzugsweise ist diese Schwelle 0,5), wird die jüngst konvergierende Kleinstquadratellösung gemeldet (936).

Wenn Beobachtungen mit versagenden Residuen Redundanzzahlen aufweisen, die größer als die Schwelle sind (935), wird jene Beobachtung mit einer Redundanzzahl, die größer als die Schwelle ist, und mit dem größten standardisierten Residuum dauerhaft vom Beobachtungssatz entfernt (928). Daraufhin wird der Vorgang wie unmittelbar oben beschrieben fortgesetzt.

Wenn Kleinstquadrate bei (914) divergiert, wird Kleinstquadrate nochmals ausgeführt, wobei jedoch der Durchschnitt der Koordinaten von beteiligten BSTs als Ausgangsposition verwendet wird (918). Wenn Kleinstquadrate nun konvergiert (919), jedoch keine Beobachtungsredundanz vorliegt (920), so wird die jüngst konvergierende Kleinstquadratellösung als Positionsschätzwert des MR (923) gemeldet. Falls Redundanz vorliegt (920), werden die standardisierten Residuen auf Normalität geprüft (921). Sollten alle Residuen bestehen, so wird die jüngst konvergierende Kleinstquadratellösung gemeldet (923). Sollten einige der Residuen versagen, jedoch keine der entsprechenden Beobachtungen Redundanzzahlen aufweisen, die größer als eine gewisse Schwelle sind (922), so wird die jüngst konvergierende Kleinstquadratellösung gemeldet (923).

Falls Beobachtungen mit versagenden Residuen Redundanzzahlen aufweisen, die größer als die Schwelle sind (922), so wird jene Beobachtung mit Redundanzzahl, die größer als die Schwelle ist, und mit dem größten standardisierten Residuum dauerhaft vom Beobachtungssatz entfernt (928). Daraufhin wird der Vorgang von (928) wie oben beschrieben fortgesetzt.

Wenn Kleinstquadrate bei (919) nicht konvergiert und keine Redundanz vorliegt (924), so wird entweder keine Lösung für diesen bestimmten Satz von Beobachtungsdaten gemeldet oder es wird die Lösung von der letzten Iteration vor der Divergenz gemeldet (927). Falls Redundanz vorliegt, jedoch alle der standardisierten Residuen die Normalitätsprüfung bestehen (925), wird keine Lösung für diesen bestimmten Satz von Beobachtungsdaten gemeldet oder die Lösung von der letzten Iteration vor der Divergenz gemeldet (927). Sollten einige der Residuen versagen, so wird die Beobachtung mit dem größten standardisierten Residuum dauerhaft aus dem Datensatz entfernt, unabhängig von seiner Redundanzzahl. Der Vorgang beginnt dann an Punkt (912), wie oben beschrieben wird.

Fig. 9 gilt auch für,

- AOA-Ortung,
- AOA/TDOA-Ortung und
- AOA/Bereichs-Ortung.

## Übertragen von Lageinformationen des MR über das Internet

5 In Anbetracht der Tatsache, daß das Internet global und kostengünstig ist, kann die Kommunikation zwischen dem Host und dem Kunden über dieses bewerkstelligt werden. Wenn beispielsweise ein MR 911 wegen eines Notfalls anruft, ist es möglich, die Positionsdaten des MR vom Host zum PSAP über das Internet weiterzuleiten. Auch im Fall, bei dem ein aktiver MR von einem Kunden geortet werden soll, können dessen Positionsdaten über das Internet vom Host zum Kunden weitergeleitet werden.

10 Der Nutzen des Internets für die Funktion des Übertragens von MR-Lageinformationen auf einer globalen Ebene erweitert die Anwendbarkeit des Drahtlosortungssystems über das Mobilfunknetz hinaus, für welches die BSTs aufgestellt wurden. Durch die neueste Internettechnologie wie Java, JavaBeans sowie CORBA (Common Object Request Broker Architecture), können MR-Lageinformationen, welche sich am Host befinden, mit Informationen Dritter (d. h. einer Landkartendatenbank oder einer Datenbank bestehend aus geocodierten Geschäftsadressen wie Restaurants, Abschlepp-

15 unternehmen usw.), die sich an einem anderen geographischen Ort befinden, möglicherweise sogar in einem anderen Land, integriert werden. Die Kombination dieser MR-Lageinformationen mit Informationen Dritter kann über das Internet übertragen werden, um es Kunden zu ermöglichen, einen bestimmten MR zu orten, in bezug auf entweder eine Position auf einer Landkarte (d. h. Straßenadresse) und/oder einen Unternehmensstandort, vorausgesetzt, daß sich der MR innerhalb der Netzreichweite für das Drahtlosortungssystem befindet. Durch diesen Vorgang kann auf die MR-Lageinformationen und die Datenbankinformationen Dritter zugegriffen oder diese können dem Kunden "angeboten" werden, mittels effizienter Java-Internet-Technologieprozesse. Der Diensteanbieter wird die verschiedenen Komponenten, einschließlich der MR-Lageinformationen, welche vom Drahtlosortungssystem und der Datenbank mit Informationen Dritter abgeleitet wurden, miteinander integrieren. Der Integrationsvorgang der verschiedenen Datenbanken ist für den Kunden transparent. Der Kunde wird nur wissen, daß der Dienst auf Standortbasis als solcher existiert, um alle verschiedenen

20 Komponenten zusammenzuführen, um für einen kompletten Dienst zu sorgen, welcher entweder auf regionaler, nationaler oder möglicherweise auf globaler Ebene angeboten werden kann. Durch das Internet können diese Dienste auf Standortbasis nun dem Kunden auf einer wirtschaftlichen Plattform angeboten werden. Beispiele für derartige Dienste sind Flottenmanagement, Wachdienste, Pannenhilfe, Kindersuchdienste usw. Auf dem Internet sind Aspekte der Rechtskonformität und Sicherheit ein Problemfaktor, und in manchen Fällen kann eine Standleitung erforderlich sein.

25 In diesem Dokument bezeichnet der Begriff reine Kopie eine Kopie eines Signals, welche kein Rauschen aufweist, welche beispielsweise mittels einer gespeicherten Version des Sendesignals erhalten werden kann. Niedrige Gruppenlaufzeitvariation bedeutet vorzugsweise wenige 10tel von Nanosekunden der Gruppenlaufzeit. Eine adäquate objektive Funktion ist eine in der Literatur bekannte Funktion, beispielsweise das Minimieren des mittleren Fehlerquadrats. Ein PSAP ist eine öffentliche Notrufeinrichtung, beispielsweise eine 911-Station. Ein RSSI ist eine Empfängersignalstärke-

30 anzeige.

Jedes Dokument, auf welches in diesem Dokument dahingehend Bezug genommen wird, daß es zweckdienliche Informationen zum Implementieren der MR-Ortung enthält, ist diesem Dokument durch Bezugnahme einverleibt.

Modifikationen der offenbarten bevorzugten Ausführungsformen können, ohne daß diese vom Umfang der Erfindung abweichen, für einschlägig versierte Fachleute klar ersichtlich sein.

## Patentansprüche

1. Verfahren des Schätzens des Standortes eines Mobilempfängers (MR), umfassend die folgenden Schritte:  
Empfangen einer Mehrzahl von Signalen von einer Mehrzahl von Basisstationssendern (BSTs) durch den MR; und  
Ausführen einer nichtlinearen Operation bezüglich der Mehrzahl empfangener Signale am MR, um mindestens einen Ton je empfangenem Signal zu generieren.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die nichtlineare Operation aus der Gruppe ausgewählt wird, umfassend:  
eine quadratische Operation;  
eine Verzögerungsproduktoperation; und  
eine Absolutwertoperation.
3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Ortungsoperation durch Schätzen der Phasen des mindestens einen generierten Tons ausgeführt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die empfangenen Signale vor dem Ausführen der nichtlinearen Operation gefiltert werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die empfangenen Signale vor dem Ausführen der Filteroperation mit einer sauberen Kopie von sich selbst korreliert werden.
6. Verfahren des Schätzens des Standortes eines Mobilempfängers (MR), umfassend die folgenden Schritte:  
Empfangen einer Mehrzahl von Signalen von einer Mehrzahl von Basisstationssendern (BSTs) durch den MR; und  
Schätzen des Standortes des MR durch Schätzen der Phasen von vorhandenen Tönen in jedem empfangenen Signal.
7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 6, wobei die generierten oder vorhandenen Töne durch Verwendung von SR- oder inversen SR-Algorithmen aufgelöst werden.
8. Verfahren des Schätzens des Standortes des MR in Anspruch 1 oder 6 durch Herauslösen der Töne mittels digitalen Filterns.
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Verfahren des digitalen Filterns die folgenden Schritte umfaßt:  
Ausführen einer Fourier-Transformation (FT) bezüglich Segmenten des Signals,  
Fenster der gewünschten Frequenzdomänenbänder für jedes FT-Segment; und  
Ausführen einer inversen Fourier-Transformation (IFT) bezüglich der gefensterten Bänder.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die gefensterten Frequenzdomänenbänder für jedes FT-Segment zu einem

Host übertragen werden.

11. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Verfahren des digitalen Filterns eine Operation ausführt, welche aus der Gruppe ausgewählt wird, welche besteht aus:

einer gleitenden (oder rekursiven) FT-Operation,  
einer IIR-Filteroperation; und  
einer FIR-Filteroperation.

12. Verfahren nach Anspruch 10, wobei ein Zeitdomänensignal,  $r_i(t)$ , am Host konstruiert wird durch Anhängen aller Empfangssignalfrequenzdomänensegmente; und Ausführen einer IFT-Operation.

13. Verfahren nach Anspruch 9 oder 12, wobei eine Mehrzahl von Tönen im rekonstruierten Zeitdomänensignal,  $r_i(t)$ , durch Verwendung von SR- oder inversen SR Algorithmen aufgelöst werden.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei ein Ton aus der Mehrzahl aufgelöster Töne ausgewählt wird, derart, daß er der frühesten Eintreffzeit aller aufgelösten Töne entspricht.

15. Verfahren nach Anspruch 7 oder 13, wobei die SR- oder die inversen SR-Algorithmen aus der Gruppe von Algorithmen ausgewählt werden, bestehend aus:

MUSIC,

ESPRIT,

autoregressiver gleitender Durchschnitt,

Minimalvarianz,

MUSIC unter Verwendung höherrangiger Statistik,

ESPRIT unter Verwendung höherrangiger Statistik,

autoregressiver gleitender Durchschnitt unter Verwendung höherrangiger Statistik, und  
Minimalvarianz unter Verwendung höherrangiger Statistik.

16. Verfahren nach 15, des weiteren umfassend

das Verfahren, welches einen inversen SR-Algorithmus ausführt;

wobei der inverse SR-Algorithmus umfaßt:

einen herkömmlichen Zeitdomänenkorrelator,

ein Zeitdomänenfenster,

eine Fourier-Transformation,

ein Frequenzdomänenfenster,

einen Frequenzdomänenequaliser, und

einen Prozessor, welcher einen SR-Algorithmus ausführt, um die TOAs im empfangenen Signal an einem bestimmten BST aufzulösen.

17. Verfahren nach 15, des weiteren umfassend:

das Verfahren, welches einen inversen SR-Algorithmus ausführt;

wobei der inverse SR-Algorithmus umfaßt:

einen Frequenzdomänenkorrelator,

ein Frequenzdomänenfenster,

eine inverse Fourier-Transformation,

ein Zeitdomänenfenster,

einen Zeitdomänenequaliser, und

einen Prozessor, welcher einen SR-Algorithmus ausführt, um die FOAs im empfangenen Signal an einem bestimmten BST aufzulösen.

18. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs ausgesendet werden, wobei eine oder mehrere Antennen am MR verwendet werden und bei welchem die Ortung des MR durch Verwendung eines Verfahrens erreicht wird, ausgewählt aus der Gruppe, umfassend:

AOA-Orten (Multiangulation),

TOA-Orten (Kreismultilateration),

Bereichs-Orten (Kreismultilateration),

TDOA-Orten (hyperbolische Multilateration),

AOA/TDOA-Orten (Multiangulation/hyperbolische Multilateration),

AOA/TDOA-Orten (Multiangulation/Kreismultilateration mit TDOAs),

AOA/Bereichs-Orten (Multiangulation/Kreismultilateration),

AOA/Bereichs-Orten (Multiangulation/Kreismultilateration), und

Kombinieren der Signale von allen Antennen für Ortungszwecke.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei mehr als eine Antenne verwendet wird.

20. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR aus Anspruch 18, wobei das Kombinieren der Signale von allen Antennen aus der Gruppe ausgewählt wird, bestehend aus:

Selektionskombinieren,

Maximalverhältniskombinieren,

Kophasenkombinieren, und

Gleichverstärkungskombinieren.

21. Ein Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs übertragen werden, unter Verwendung von Gleichung (29) und Gleichung (30).

22. Verfahren nach Anspruch 18, wobei die Ortung des MR durch Verwendung eines Verfahrens erreicht wird, ausgewählt aus der Gruppe, umfassend:

Bereichs-Orten (Kreismultilateration) mit Umlaufzeit, und

AOA/Bereichs-Orten (Multiangulation/Kreismultilateration) mit Umlaufzeit.

23. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR, wobei die Ortung des MR aufgrund einer Lösung erreicht wird, welche aus der Gruppe ausgewählt wird, umfassend:

Lösung I,

Lösung II,

Lösung III und

Lösung IV.

24. System zum Schätzen des Standortes eines Mobilempfängers (MR), umfassend:

einen Empfänger am MR zum Empfangen einer Mehrzahl von Signalen von einer Mehrzahl von Basisstationssendern (BSTs); und

ein Rechenmittel, welches über eine Kommunikationsverbindung an den Empfänger angeschlossen ist, zum Ausführen einer nichtlinearen Operation bezüglich der Mehrzahl empfangener Signale, um mindestens einen Ton je empfangenem Signal zu generieren.

25. System zum Schätzen des Standorts eines Mobilempfängers (MR), umfassend:

einen Empfänger am MR zum Empfangen einer Mehrzahl von Signalen von einer Mehrzahl von Basisstationssendern (BSTs); und

ein Rechenmittel, welches über eine Kommunikationsverbindung an den Empfänger angeschlossen ist, zum Schätzen des Standortes des MR durch Schätzen der Phasen vorhandener Töne in jedem empfangenen Signal.

26. System nach Anspruch 24, des weiteren umfassend ein Rechenmittel zum Ausführen eines inversen SR-Algorithmus;

wobei der inverse SR-Algorithmus umfaßt:

einen herkömmlichen Zeitdomänenkorrelator,

ein Zeitdomänenfenster,

eine Fourier-Transformation,

ein Frequenzdomänenfenster,

einen Frequenzdomänenequaliser und

einen Prozessor, welcher einen SR-Algorithmus ausführt, um die TOAs im empfangenen Signal an einem bestimmten BST aufzulösen.

27. System nach Anspruch 24, des weiteren umfassend ein Rechenmittel zum Ausführen eines inversen SR-Algorithmus;

wobei der inverse SR Algorithmus umfaßt:

einen Frequenzdomänenkorrelator,

ein Frequenzdomänenfenster,

eine inverse Fourier-Transformation,

ein Zeitdomänenfenster,

einen Zeitdomänenequaliser und

einen Prozessor, welcher einen SR-Algorithmus ausführt, um die FOAs im empfangenen Signal an einem bestimmten BST aufzulösen.

28. System zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs ausgesendet werden, wobei eine oder mehrere Antennen am MR verwendet werden und wobei das System Mittel zum Implementieren einer Methode umfaßt, welche aus der Gruppe ausgewählt wird, umfassend:

AOA-Orten (Multiangulation),

TOA-Orten (Kreismultilateration),

Bereichs-Orten (Kreismultilateration),

TDOA-Orten (hyperbolische Multilateration),

TDOA-Orten (Kreismultilateration mit TDOAs),

AOA/TDOA-Orten (Multiangulation/hyperbolische Multilateration),

AOA/TDOA-Orten (Multiangulation/Kreismultilateration mit TDOAs),

AOA/Bereichs-Orten (Multiangulation/Kreismultilateration),

AOA/Bereichs-Orten (Multiangulation/Kreismultilateration), und

Kombinieren der Signale von allen Antennen für Ortungszwecke.

29. System nach Anspruch 28, wobei mehr als eine Antenne am MR verwendet wird.

30. System zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs ausgesendet werden, unter Verwendung von Gleichung (29) und Gleichung (30).

31. System nach Anspruch 28, des weiteren umfassend Mittel zum Implementieren einer Methode, ausgewählt aus der Gruppe, umfassend:

Bereichs-Orten (Kreismultilateration) mit Umlaufzeit, und

AOA/Bereichs-Orten (Multiangulation/Kreismultilateration) mit Umlaufzeit.

32. System zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs ausgesendet werden, aufgrund einer beliebigen der folgenden Lösungen:

Lösung I,

Lösung II,

Lösung III und

Lösung IV.

33. System zum Schätzen des Standortes eines Mobilempfängers (MR), wobei das System einen Empfänger umfaßt, welcher eine Mehrzahl von Signalen empfängt, welche von einer Mehrzahl von BSTs ausgesendet werden; wobei der Empfänger einen ZF-Abtastempfänger umfaßt, umfassend:

eine Reihe von ZF-Stufen zum Konvertieren eines empfangenen HF-Signals  $r_i(t)$  in ein analoges ZF-Signal mit ZF-

- Frequenz  $f_1$ ;  
 ein Prealiasingfilter;  
 einen Analog-Digital(A/D)-Wandler, welcher das analoge ZF-Signal in ein digitales ZF-Signal konvertiert; und  
 einen Prozessor zum Verarbeiten des digitalen ZF-Signals.
34. System nach Anspruch 33, wobei jede ZF-Stufe des ZF-Abtastempfängers umfaßt:  
 einen Mischer;  
 ein ZF-Bandpaß(BPF)-Filter; und  
 einen ZF-Verstärker.
35. System nach Anspruch 33, wobei die Abtastrate des A/D-Wandlers unter der Nyquist-Rate liegt, um aliasierte Kopien des, digitalen ZF-Signals nahe einer unteren Zwischenfrequenz  $f_2$  zu erzwingen.
36. System nach Anspruch 33, wobei der Prozessor Funktionen ausführt, welche aus der Gruppe ausgewählt werden, welche folgende Funktionen umfaßt:  
 digitales Filtern, um Rauschen und Interferenz außerhalb der digitalen ZF-Bandbreite zu unterdrücken;  
 digitale Abwärtskonversion, um das digitale ZF-Signal in ein komplexes digitales Basisbandsignal zu konvertieren;  
 und  
 diskrete Trägerrückgewinnung in einer Trägerrückgewinnungsschleife.
37. System nach Anspruch 33, wobei der ZF-Abtastempfänger niedrige Gruppenlaufzeitvariationen über ein gewünschtes Frequenzband aufweist.
38. System nach Anspruch 33, wobei der ZF-Abtastempfänger einen oder mehrere lokale Oszillatoren (LOs) und Takte umfaßt und eine gemeinsame Referenz für alle LOs und für alle Takte aufweist.
39. System nach Anspruch 38, wobei die gemeinsame Referenz für die LOs und für die Takte auf GPS beruht.
40. System nach Anspruch 34, wobei das Prealiasingfilter ein SAW-Filter ist und das BPF ein SAW-Filter ist.
41. System nach Anspruch 40, wobei die SAW-Filter in einem metallischen Block angeordnet werden, um Biege- oder Temperatureffekte zu minimieren.
42. System nach Anspruch 33, wobei der Empfänger der MR ist.
43. System nach Anspruch 33, wobei der Empfänger ein Referenzempfänger ist, welcher nicht der MR ist.
44. System zum Schätzen des Standortes eines MR durch Verwendung eines Referenzempfängers, welcher einen LO aufweist, wobei das System umfaßt:  
 einen Schätzer zum Schätzen des Trägerversatzes (infolge von Doppler,  $\delta f_i$ , und infolge von LO-Versatz,  $\Delta f_i$ ) der Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet und vom RR empfangen werden.
45. System nach Anspruch 44, des weiteren umfassend eine diskrete Trägerrückgewinnungsschleife.
46. System nach Anspruch 45, wobei die Trägerrückgewinnungsschleife einen Prozessor umfaßt, welcher konfiguriert ist, um die folgenden Schritte zu wiederholen, bis ein zufriedenstellendes Leistungsniveau erreicht wird:  
 1. Verarbeiten der abgetasteten ZF, um eine adäquate objektive Funktion,  $f_{obj}$  abzuleiten;  
 2. Wenn  $f_{obj}$  auf innerhalb einer gewissen Zwangsbedingung optimiert ist, Stoppen der Schleife, andernfalls:  
 3. Suchen nach einem neuen Frequenzversatz,  
 4. Einjustieren des LO um den neuen Frequenzversatz und  
 5. Rückkehr zu Schritt 1.
47. System nach Anspruch 46, wobei die Suche nach einem neuen Frequenzversatz in Schritt 3 mittels eines Suchalgorithmus vom Gradiententyp durchgeführt wird.
48. System nach Anspruch 47, wobei Einjustieren des LO um den neuen Frequenzversatz entweder mittels eines DDS oder eines digitalen Abwärtswandlers oder einer Kombination daraus vorgenommen werden kann.
49. System nach Anspruch 36 oder 46, wobei der Prozessor die Funktion einer Trägerrückgewinnungsschleife durch Ausführen einer digitalen Kerbfilteroperation ausführt, welche an der gewünschten ZF-Frequenz  $f_2$  zentriert ist und deren Ansprechleistung eine optimierte objektive Funktion  $f_{obj}$ , ist, welche von der abgetasteten ZF abgeleitet wurde.
50. System nach Anspruch 49, wobei die digitale Kerbfilteroperation besteht aus:  
 einem ersten digitalen Bandpaßfilter, welches an der  $f_2 +$  Frequenz des gewünschten Tons zentriert ist; und  
 einem zweiten digitalen Bandpaßfilter, welches an der  $f_2 -$  Frequenz des gewünschten Tons zentriert ist.
51. System nach Anspruch 36 oder 46, wobei der Prozessor konfiguriert ist, um die Funktion einer Trägerrückgewinnungsschleife auszuführen, durch Ausführen einer digitalen Bandpaßfilteroperation, welche an der gewünschten ZF-Frequenz  $f_2$  zentriert ist und deren Ansprechleistung eine optimierte objektive Funktion,  $f_{obj}$ , ist, welche aus dem abgetasteten ZF-Signal abgeleitet wurde.
52. System nach Anspruch 51, wobei die gewünschte ZF-Frequenz  $f_2$  gleich Null ist und das digitale BPF ein LPF ist.
53. System nach Anspruch 51, wobei beide Bandpaßfilter durch Verwendung digitaler Biquadratfilter implementiert sind.
54. System nach Anspruch 46, des weiteren umfassend einen Host und wobei der zuletzt angetroffene geschätzte Trägerversatz zum Host übertragen wird, um als Unterstützung beim Schätzen der Geschwindigkeit  $v$  des MR und seiner Bewegungsrichtung zu dienen.
55. System zum Schätzen des Standortes eines MR, welcher einen LO aufweist, wobei das System umfaßt:  
 einen Schätzer zum Schätzen des Trägerversatzes (infolge von Doppler,  $\delta f_i$ , und infolge von LO-Versatz,  $\Delta f_i$ ) der Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet und vom MR empfangen werden.
56. System nach Anspruch 55, wobei der Schätzer eine diskrete Trägerrückgewinnungsschleife umfaßt.
57. System nach Anspruch 56, wobei die Trägerrückgewinnungsschleife einen Prozessor umfaßt, welcher konfiguriert ist, um die folgenden Schritte auszuführen, bis ein zufriedenstellendes Leistungsniveau erreicht wird:  
 1. Verarbeiten der abgetasteten ZF, um eine adäquate objektive Funktion,  $f_{obj}$  abzuleiten;  
 2. Wenn  $f_{obj}$  auf innerhalb einer gewissen Zwangsbedingung optimiert ist, Stoppen der Schleife, andernfalls:

3. Suchen nach einem neuen Frequenzversatz,
4. Einjustieren des LO um den neuen Frequenzversatz und
5. Rückkehr zu Schritt 1.
58. System nach Anspruch 57, wobei die Suche nach einem neuen Frequenzversatz in Schritt 3 mittels eines Suchalgorithmus vom Gradiententyp durchgeführt wird.
59. System nach Anspruch 57, wobei Einjustieren des LO um den neuen Frequenzversatz entweder mittels eines DDS oder eines digitalen Abwärtswandlers oder einer Kombination daraus durchgeführt wird.
60. System nach Anspruch 46, wobei der Prozessor konfiguriert ist, um die Funktion einer Trägerrückgewinnungsschleife durch Ausführen einer digitalen Kerbfilteroperation auszuführen, welche an der gewünschten ZF-Frequenz  $f_2$  zentriert ist und deren Ansprechleistung eine optimierte objektive Funktion,  $f_{obj}$ , ist, welche aus dem abgetasteten ZF-Signal abgeleitet wurde.
61. System nach Anspruch 59, wobei die digitale Kerbfilteroperation besteht aus:  
einem ersten digitalen Bandpaßfilter, welches an der  $f_2 +$  Frequenz des gewünschten Tons zentriert ist; und  
einem zweiten digitalen Bandpaßfilter, welches an der  $f_2 -$  Frequenz des gewünschten Tons zentriert ist.
62. System nach Anspruch 61, wobei der Prozessor konfiguriert ist, um die Funktion einer Trägerrückgewinnungsschleife durch Ausführen einer digitalen Bandpaßfilteroperation auszuführen, welche an der gewünschten ZF-Frequenz  $f_2$  zentriert ist und deren Ansprechleistung eine optimierte objektive Funktion,  $f_{obj}$ , ist, welche aus dem abgetasteten ZF-Signal abgeleitet wurde.
63. System nach Anspruch 62, wobei die gewünschte ZF-Frequenz  $f_2$  gleich Null ist und das digitale BPF ein LPF ist.
64. System nach Anspruch 61, wobei beide Bandpaßfilter durch Verwendung digitaler Biquadratfilter implementiert sind.
65. System nach Anspruch 55 oder 56, des weiteren umfassend einen Host und wobei der zuletzt angetroffene geschätzte Trägerversatz zum Host übertragen wird, um die Geschwindigkeit  $v$  des MR und seine Bewegungsrichtung zu schätzen.
66. System nach Anspruch 65, wobei die Geschwindigkeit des CT und seine Bewegungsrichtung als Funktion der Differenz zwischen den geschätzten Trägerversätzen geschätzt wird.
67. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt:  
Empfangen einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs übertragen werden, an einem Empfänger;  
Konvertieren des empfangenen HF-Signals  $\eta(t)$  in ein ZF-Signal mit ZF-Frequenz  $f_1$  in einem ZF-Abtastempfänger;  
Filtern des ZF-Signals mit einem Prealiasingfilter;  
Konvertieren des gefilterten analogen ZF-Signals in ein digitales ZF-Signal in einem Analog/Digital-Wandler; und  
Verarbeiten des digitalen ZF-Signals in einem Signalprozessor.
68. Verfahren nach Anspruch 67, wobei der Empfänger der MR ist.
69. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt:  
Schätzen des Trägerversatzes (infolge von Doppler,  $\delta f_i$ , und infolge von LO-Versatz,  $\Delta f_i$ ) einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet und von einem RR empfangen werden.
70. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt:  
Schätzen des Trägerversatzes (infolge von Doppler,  $\delta f_i$ , und infolge von LO-Versatz,  $\Delta f_i$ ) einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet und vom MR empfangen werden.
71. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt:  
Charakterisieren der relativen Gruppenlaufzeit,  $\Delta t_i - \Delta t_j$ , an einem RR zwischen einem vom i-ten BST empfangenen Signal und einem vom j-ten BST empfangenen Signal, vor der Operation;  
Entfernen der charakterisierten relativen Gruppenlaufzeit,  $\Delta t_i - \Delta t_j$ , von der geschätzten Eintreffzeitdifferenz,  $\tau_i - \tau_j$ , am MR zwischen einem vom i-ten BST empfangenen Signal und einem vom j-ten BST empfangenen Signal, um eine korrigierte Eintreffzeitdifferenz zu ergeben; und  
Finden des Standortes des MR durch Verwendung der korrigierten Eintreffzeitdifferenz.
72. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR nach Anspruch 71, wobei das Charakterisieren der relativen Gruppenlaufzeit,  $\Delta t_i - \Delta t_j$ , erreicht wird durch:  
Zwingen eines Senders an einem bekannten Standort, zu einer bekannten Sendezeit (TOT) zu senden;  
Empfangen des gesendeten Signals am RR;  
Messen der Eintreffzeit (TOA) des Signals am RR;
73. Schätzen der Laufzeit als Differenz zwischen der TOA und der TOT; und  
Finden der Differenz zwischen der geschätzten Laufzeit und der bekannten Laufzeit, wobei die Differenz die geschätzte Verzögerung des gesendeten Signals durch den RR ist.
74. Verfahren nach Anspruch 71, des weiteren umfassend das mehrmalige Wiederholen der Schritte aus Anspruch 72, um eine Mehrzahl geschätzter Verzögerungen zu ergeben, gefolgt vom Mitteln der geschätzten Verzögerungen.
75. Verfahren nach Anspruch 72, wobei der Sender an einem bekannten Standort ein CT ist.
76. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR in Ortungszustand 0 oder Ortungszustand 1 aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, wobei die Übertragung der Positionsdaten vom Host zu einem Benutzer über das Internet bewerkstelligt wird.
77. Verfahren nach Anspruch 75, wobei der MR 911 (lokale Notrufnummer) ruft und die Daten zu einem PSAP übertragen werden.
78. Verfahren nach Anspruch 75, des weiteren umfassend das Erweitern der Kapazität eines Drahtlosortungssystems auf Handapparatbasis über das Netz, in welchem es installiert ist, hinaus durch Verwenden einer Internettechnologie als Grundlage, um Datenbankdaten Dritter von verschiedenen Orten effizient zu integrieren, um ganzheitlich



che ortonungsgestützte Dienste auf regionaler, nationaler oder globaler Ebene vorzusehen.

78. Verfahren nach Anspruch 77, wobei die Internettechnologie auf Java basiert.

79. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, umfassend:

die Verwendung von Kleinstquadrate, um für die Positionsdaten des MR zu lösen, und die Verwendung von TDOA-Beobachtungen von entfernt gelegenen BSTs, um für Mehrdeutigkeiten in einer AOA-Lösung aufzulösen;

die Verwendung von AOA-Beobachtungen von unterschiedlichen Sektoren an derselben Zellen-BS, um für Mehrdeutigkeiten in einer AOA-Lösung aufzulösen; und

die Verwendung von Bereichsbeobachtungen von unterschiedlichen BSTs, um für Mehrdeutigkeiten in einer AOA-Lösung aufzulösen.

80. Verfahren nach Anspruch 79, des weiteren umfassend das Quantifizieren der Auswirkung der Geometrie auf die Positionsschätzung, bei sowohl AOA- als auch Bereichsbeobachtungen, durch Verwendung der Designmatrix in Gleichung (48).

81. System zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, wobei das System einen Host umfaßt, und wobei das System umfaßt;

Anpassen des MR, um einige oder alle der folgenden Daten von einer entfernt gelegenen Quelle zu empfangen und die Daten für die Ausführung eines Ortungszustandes zu verwenden:

Identifikation von Basisstationspilotsignalen für das Mobilgerät, um nach einer Piloterkennungsschwelle zu suchen; Zeitdauer für Sucher, um Pilotenergie an jedem Verzögerungsversatz zu akkumulieren;

Suchfensterzeitlänge oder -dauer;

Beabstandung aufeinanderfolgender Abtastpunkte innerhalb des Suchfensters;

Frequenz, bei welcher die Suche nach Pilotsignalen durchgeführt wird;

Zellen-System, welches das Mobilgerät erfassen sollte;

die Anzahl, wie viele Male das Mobilgerät die gesamte oder einen Teil des Ortungsvorgangs wiederholen sollte;

Korrelationsintervall;

Standorte von Basisstationen; und

Anpassen des MR, um eine oder mehrere der folgenden Informationen zum Host zu senden:

Eintreffzeiten von Pilotsignalen;

Identifikation der Pilotsignale, welche von der Vorrichtung gemeldet werden;

Empfangssignalqualitäten von Pilotsignalen;

Pilotsuchergebnisse; und

Trägerfrequenzen von gemeldeten Pilotsignalen.

82. System zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, wobei das System umfaßt:

erste Rechenmittel zum Charakterisieren der relativen Gruppenlaufzeit,  $\Delta t_i - \Delta t_j$ , an einem RR zwischen einem Signal, das vom i-ten BST empfangen wird, und einem Signal, das vom j-ten BST empfangen wird, vor der Operation; und

zweite Rechenmittel zum Entfernen der charakterisierten relativen Laufzeit,  $\Delta t_i - \Delta t_j$ , von der geschätzten Eintreffzeitdifferenz,  $\tau_i - \tau_j$ , am MR zwischen einem Signal, das vom i-ten BST empfangen wird, und einem Signal, das vom j-ten BST empfangen wird.

83. System zum Schätzen des Standortes eines MR in Ortungszustand 0 oder in Ortungszustand 1 aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, wobei die Übertragung der Positionsinformationen vom Host zu einem Benutzer über das Internet bewerkstelligt wird.

84. System nach Anspruch 83, wobei Positionsdaten von einem Host eines MR, welcher 911 anruft, über das Internet übertragen werden.

85. System zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, wobei:

Kleinstquadrate verwendet werden, um für die Positionsinformationen des MR zu lösen;

TDOA-Beobachtungen von entfernt gelegenen BSTs verwendet werden, um für Mehrdeutigkeiten in einer AOA-Lösung aufzulösen;

AOA-Beobachtungen von verschiedenen Sektoren an derselben Zellen-BS verwendet werden, um für Mehrdeutigkeiten in einer AOA-Lösung aufzulösen; und

AOA-Beobachtungen von verschiedenen Sektoren an derselben Zellen-BS verwendet werden, um für Mehrdeutigkeiten in einer AOA-Lösung aufzulösen.

86. System nach Anspruch 85, des weiteren umfassend ein erstes Rechenmittel zum Quantifizieren der Wirkung der Geometrie auf die Positionsschätzung, bei sowohl AOA- als auch Bereichsbeobachtungen, durch Verwendung der Designmatrix in Gleichung (48).

87. Verfahren zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden;

wobei der MR einige oder alle der folgenden Daten von einer entfernt gelegenen Quelle empfängt und diese Daten für die Ausführung eines Ortungszustandes verwendet:

Identifikation von Basisstationspilotsignalen für das Mobilgerät, um nach einer Piloterkennungsschwelle zu suchen; Zeitdauer für Sucher, um Pilotenergie an jedem Verzögerungsversatz zu akkumulieren;

Suchfensterzeitlänge oder -dauer;

Beabstandung aufeinanderfolgender Abtastpunkte innerhalb des Suchfensters;

Frequenz, bei welcher die Suche nach Pilotsignalen durchgeführt wird;

Zellen-System, welches das Mobilgerät erfassen sollte;

die Anzahl, wie viele Male das Mobilgerät die gesamte oder einen Teil des Ortungsvorgangs wiederholen sollte;

Korrelationsintervall;  
 Standorte von Basisstationen; und  
 wobei einige oder alle der folgenden Informationen vom MR zum Host gesendet werden:  
 Eintreffzeiten von Pilotsignalen;  
 Identifikation der Pilotsignale, welche von der Vorrichtung gemeldet werden;  
 Empfangssignalqualitäten von Pilotsignalen;  
 Pilotsuchergebnisse;

Trägerfrequenzen von gemeldeten Pilotsignalen.

88. Verfahren zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, wobei Abschlußfehler und/oder standardisierte Residuen verwendet werden, um Beobachtungen zu markieren, welche eventuell einen Blunder enthalten.

89. Verfahren nach Anspruch 88, wobei Lageinformationen von jedem BST auf der Grundlage ihres entsprechenden RSSI gewichtet werden und wobei ein Verfahren ausgewählt aus der Gruppe, welche aus den folgenden Verfahren besteht, verwendet wird, um für die Positionsinformationen des MR zu lösen:

allgemeine erwartungstreue Mindestvarianzschätzung,

beste lineare erwartungstreue Schätzung,

Maximalwahrscheinlichkeitsschätzung,

Kleinstquadrateschätzung,

Momentenmethode,

allgemeine Bayessche Schätzung,

lineare Bayessche Schätzung, und

Kalman-Filtern.

90. Verfahren nach Anspruch 88, wobei ein Verfahren, welches aus der Gruppe ausgewählt wird, die aus den folgenden Verfahren besteht, verwendet wird, um für die Positionsinformation des CT zu lösen:

allgemeine erwartungstreue Mindestvarianzschätzung,

beste lineare erwartungstreue Schätzung,

Maximalwahrscheinlichkeitsschätzung,

Kleinstquadrateschätzung,

Momentenmethode,

allgemeine Bayessche Schätzung,

lineare Bayessche Schätzung, und

Kalman-Filtern.

91. Verfahren nach Anspruch 88, wobei die markierten Beobachtungen entweder verworfen werden oder in der LS-Lösung behalten werden, unter Zugrundelegung ihrer Wirkung auf die Gesamtresiduen der LS-Lösung und ihrer individuellen Redundanzzahl.

92. Verfahren nach Anspruch 91, wobei Kleinstquadrate ohne die markierten Beobachtungen wiederholt wird.

93. Verfahren nach Anspruch 92, wobei jüngst markierte Beobachtungen entfernt werden und Kleinstquadrate wiederholt wird, bis Kleinstquadrate konvergiert oder keine weiteren redundanten Beobachtungen vorliegen.

94. Verfahren nach Anspruch 88, welches ein Verfahren verwendet, das aus der Gruppe ausgewählt ist, welche aus dem Verfahren nach Chaffee und LOCA besteht, um Lösungsbinärverzweigung zu erkennen.

95. Verfahren nach Anspruch 93, wobei zwei Schätzungen der MR-Position vorgesehen werden, falls eine Lösungsbinärverzweigung existiert und keine Beobachtungsredundanz vorliegt.

96. Verfahren nach Anspruch 88, wobei das Hybrid-TDOA-Ortungsmodell in Gleichung (42), welches Abschlußfehler und Residuen für die einzelnen BSTs ergibt, verwendet wird.

97. Verfahren nach Anspruch 96, wobei ein Verfahren, welches aus der Gruppe ausgewählt wird, die aus den folgenden Verfahren besteht, verwendet wird, um für die Positionsinformationen des MR zu lösen:

allgemeine erwartungstreue Mindestvarianzschätzung,

beste lineare erwartungstreue Schätzung,

Maximalwahrscheinlichkeitsschätzung,

Kleinstquadrateschätzung,

Momentenmethode,

allgemeine Bayessche Schätzung,

lineare Bayessche Schätzung, und

Kalman-Filtern.

98. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, wobei eine Kombination aus AOA- und TDOA-Beobachtungen verwendet wird, derart, daß der MR mit nur zwei unabhängigen AOA-Beobachtungen und einer TDOA-Beobachtung geortet werden kann.

99. Verfahren nach Anspruch 98, wobei ein Verfahren, das aus der Gruppe ausgewählt wird, welche aus den folgenden Verfahren besteht, verwendet wird, um für die Positionsinformationen des MR zu lösen:

allgemeine erwartungstreue Mindestvarianzschätzung,

beste lineare erwartungstreue Schätzung,

Maximalwahrscheinlichkeitsschätzung,

Kleinstquadrateschätzung,

Momentenmethode,

allgemeine Bayessche Schätzung,

lineare Bayessche Schätzung, und

Kalman-Filtern.

100. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehr-

zahl von BSTs gesendet werden, wobei eine Kombination aus AOA- und TOA-Beobachtungen verwendet wird, derart, daß der MR mit nur einer AOA-Beobachtung und einer TOA-Beobachtung geortet werden kann.

101. Verfahren nach Anspruch 100, wobei ein Verfahren, welches aus der Gruppe ausgewählt wird, die aus den folgenden Verfahren besteht, verwendet wird, um für die Positionsinformationen des MR zu lösen:

allgemeine erwartungstreue Mindestvarianzschätzung,

beste lineare erwartungstreue Schätzung,

Maximalwahrscheinlichkeitsschätzung,

Kleinstquadrateschätzung,

Momentenmethode,

allgemeine Bayessche Schätzung,

lineare Bayessche Schätzung, und

Kalman-Filtern.

102. Verfahren nach Anspruch 100, wobei die TOA-Beobachtungen auf dem Schätzen der RTD zwischen der BS-Sendung und dem Empfang der Antwort des MR auf die BS-Sendung beruhen.

103. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, wobei eine Kombination aus TOA-Beobachtungen gesendet wird, derart, daß der MR mit nur zwei unabhängigen TOA-Beobachtungen geortet werden kann.

104. Verfahren nach Anspruch 103, wobei ein Verfahren, welches aus der Gruppe ausgewählt wird, die aus den folgenden Verfahren besteht, verwendet wird, um für die Positionsinformationen des MR zu lösen:

allgemeine erwartungstreue Mindestvarianzschätzung,

beste lineare erwartungstreue Schätzung,

Maximalwahrscheinlichkeitsschätzung,

Kleinstquadrateschätzung,

Momentenmethode,

allgemeine Bayessche Schätzung,

lineare Bayessche Schätzung, und

Kalman-Filtern.

105. Verfahren nach Anspruch 103, wobei die TOA-Beobachtungen auf dem Schätzen der RTD zwischen der BST-Sendung und dem Empfang der Antwort des MR auf die BST-Sendung beruhen.

106. Verfahren nach Anspruch 89, wobei Kleinstquadrate verwendet wird, um für die Positionsinformationen des MR zu lösen, und wobei die Anzahl von BSTs, welche beim Orten des MR verwendet werden, optimiert wird.

107. Verfahren nach Anspruch 106, wobei die Optimierung der Anzahl von BSs, welche beim Orten des MR verwendet werden, auf der Grundlage des Minimierens von HDOP erreicht wird, während der mittlere empfangene RSSI von allen BSTs maximiert wird.

108. Verfahren nach Anspruch 89, wobei Kleinstquadrate verwendet wird, um für die Positionsinformationen des MR zu lösen, wobei das Verfahren aus einem in geschlossener Form darstellbaren Algorithmus besteht, um eine exakte Ausgangsposition vorzusehen, um den Kleinstquadrate-Iterationsvorgang zu starten.

109. Verfahren nach Anspruch 108, wobei der in geschlossener Form darstellbare Algorithmus aus der Gruppe ausgewählt wird, welche aus LOCA, Ebenenschnitt, den Verfahren nach Bancroft, sphärischer Interpolation, dem Verfahren nach Schau und Robinson und dem Verfahren nach Chan und Ho besteht, um eine exakte Ausgangsposition vorzusehen, um den Kleinstquadrate-Iterationsvorgang zu starten.

110. Verfahren nach Anspruch 88, wobei die mittleren Koordinaten der beteiligten BSs als die Ausgangsposition für Kleinstquadrate verwendet werden, in dem Fall, daß die geschlossene Form dazu führt, daß Kleinstquadrate divergiert.

111. Verfahren nach Anspruch 88, wobei die Auswirkung der Geometrie auf AOA-Orten durch Verwendung der Designmatrix in Gleichung (45) quantifiziert wird.

112. Verfahren nach Anspruch 98, wobei die Auswirkung der Geometrie auf die Positionsschätzung, bei sowohl AOA- als auch TDOA-Beobachtungen, durch Verwendung der Designmatrix in Gleichung (46) quantifiziert wird.

113. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, welches die Auswirkung der Geometrie auf die Geschwindigkeits- und Bewegungsrichtungsschätzung durch Verwendung der Designmatrix in Gleichung (51) quantifiziert.

114. Verfahren des Schätzens des Standortes eines MR in Anspruch 88, wobei die Beobachtungen aus der Gruppe ausgewählt werden, welche besteht aus

TOA,

POA, und

FOA.

115. System zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, wobei Abschlußfehler und/oder standardisierte Residuen verwendet werden, um Beobachtungen zu markieren, welche eventuell einen Blunder enthalten.

116. System nach Anspruch 115, wobei Lageinformationen von jedem BST auf der Grundlage ihres entsprechenden RSSI gewichtet werden und wobei ein Verfahren, das aus einer Gruppe ausgewählt wird, welche aus den folgenden Verfahren besteht, verwendet wird, um für die Positionsinformationen des MR zu lösen:

allgemeine erwartungstreue Mindestvarianzschätzung,

beste lineare erwartungstreue Schätzung,

Maximalwahrscheinlichkeitsschätzung,

Kleinstquadrateschätzung,

Momentenmethode,

allgemeine Bayessche Schätzung,

lineare Bayessche Schätzung, und  
Kalman-Filtern.

117. System nach Anspruch 115, welches sich eines Verfahrens bedient, das aus der Gruppe, bestehend aus dem Verfahren nach Chaffee und LOCA, ausgewählt wird, um Lösungsbinärverzweigung zu erkennen.

118. System nach Anspruch 115, wobei das Hybrid-TDOA-Ortungsmodell in Gleichung (42), welches Abschlußfehler und Residuen für individuelle BSTs ergibt, verwendet wird.

119. System zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, wobei eine Kombination aus AOA- und TDOA-Beobachtungen verwendet wird, derart, daß der MR mit nur zwei unabhängigen AOA-Beobachtungen und einer TDOA-Beobachtung geortet werden kann.

120. System zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, wobei eine Kombination aus AOA- und TOA-Beobachtungen verwendet wird, derart, daß der MR mit nur einer AOA-Beobachtung und einer TOA-Beobachtung geortet werden kann.

121. System zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, wobei eine Kombination von TOA-Beobachtungen verwendet wird, derart, daß der MR mit nur zwei unabhängigen TOA-Beobachtungen geortet werden kann.

122. System nach Anspruch 116 oder 121, wobei Kleinstquadrate verwendet wird, um für die Positionsinformationen des MR zu lösen und wobei die Anzahl von BSTs, welche beim Orten des MR verwendet wird, optimiert wird.

123. System nach Anspruch 116 oder 121, wobei Kleinstquadrate verwendet wird, um für die Positionsinformationen des MR zu lösen, wobei das Verfahren aus einem in geschlossener Form darstellbaren Algorithmus besteht, um eine exakte Ausgangsposition vorzusehen, um den Kleinstquadrate-Iterationsvorgang zu starten.

124. System nach Anspruch 115 oder 116, wobei die mittleren Koordinaten der beteiligten BSs als die Ausgangsposition für Kleinstquadrate verwendet werden, in dem Fall, daß ein in geschlossener Form darstellbarer Algorithmus, welcher aus der Gruppe ausgewählt wird, die aus LOCA, Ebenenschnitt, dem Verfahren nach Bancroft, sphärischer Interpolation, dem Verfahren nach Schau und Robinson und der Lösung nach Chan und Ho besteht, dazu führt, daß Kleinstquadrate divergiert.

125. System nach Anspruch 115 oder 116, wobei die Auswirkung der Geometrie auf AOA-Orten durch Verwendung der Designmatrix in Gleichung (45) quantifiziert wird.

126. System zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, welches die Auswirkung der Geometrie auf die Positionsschätzung, bei sowohl AOA- als auch TDOA-Beobachtungen, durch Verwendung der Designmatrix in Gleichung (46) quantifiziert.

127. System zum Schätzen des Standortes eines MR aus einer Mehrzahl von Signalen, welche von einer Mehrzahl von BSTs gesendet werden, welches die Auswirkung der Geometrie auf die Geschwindigkeits- und Bewegungsrichtungsschätzung durch Verwendung der Designmatrix in Gleichung (51) quantifiziert.

---

Hierzu 17 Seite(n) Zeichnungen

---

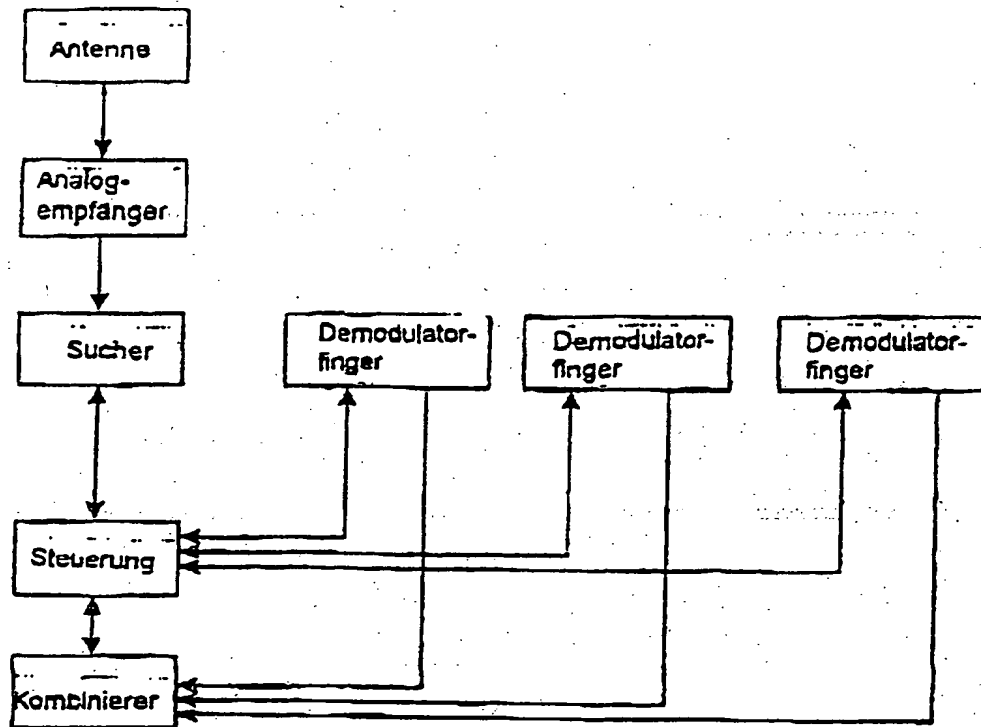


Fig. 12

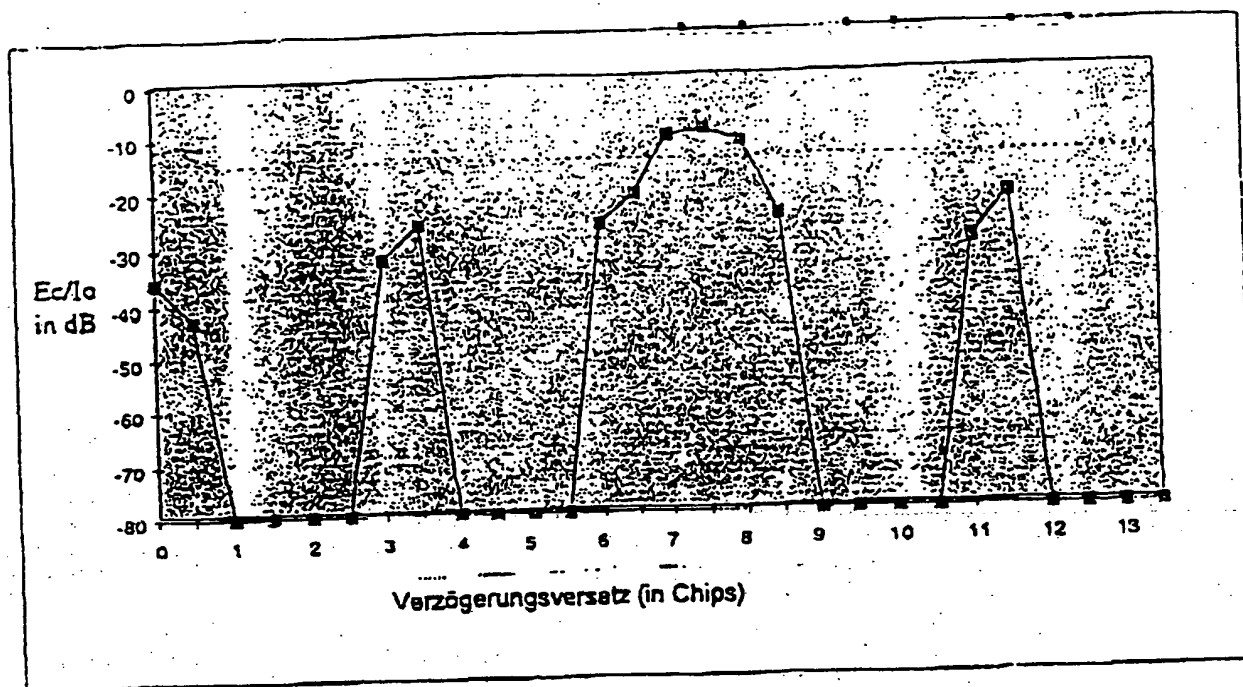


Fig. 11

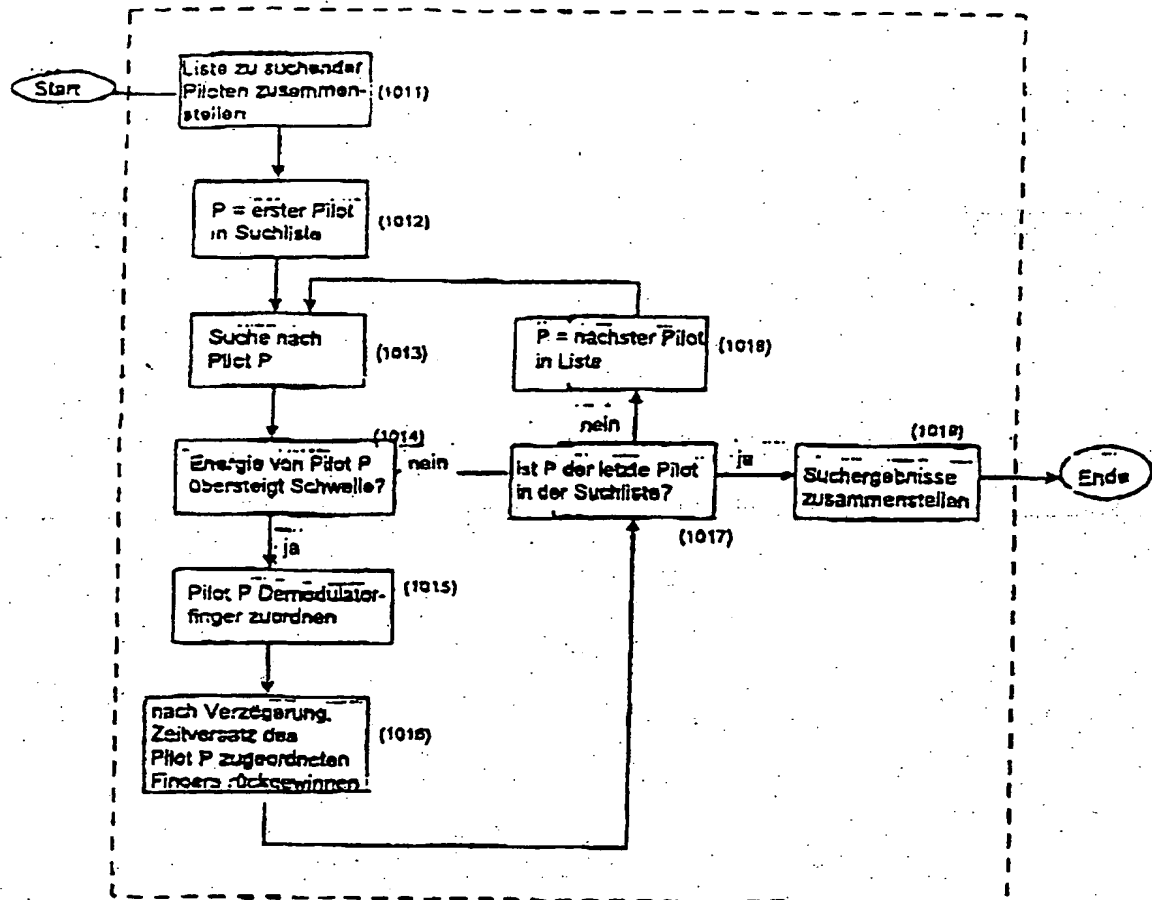


Fig. 10

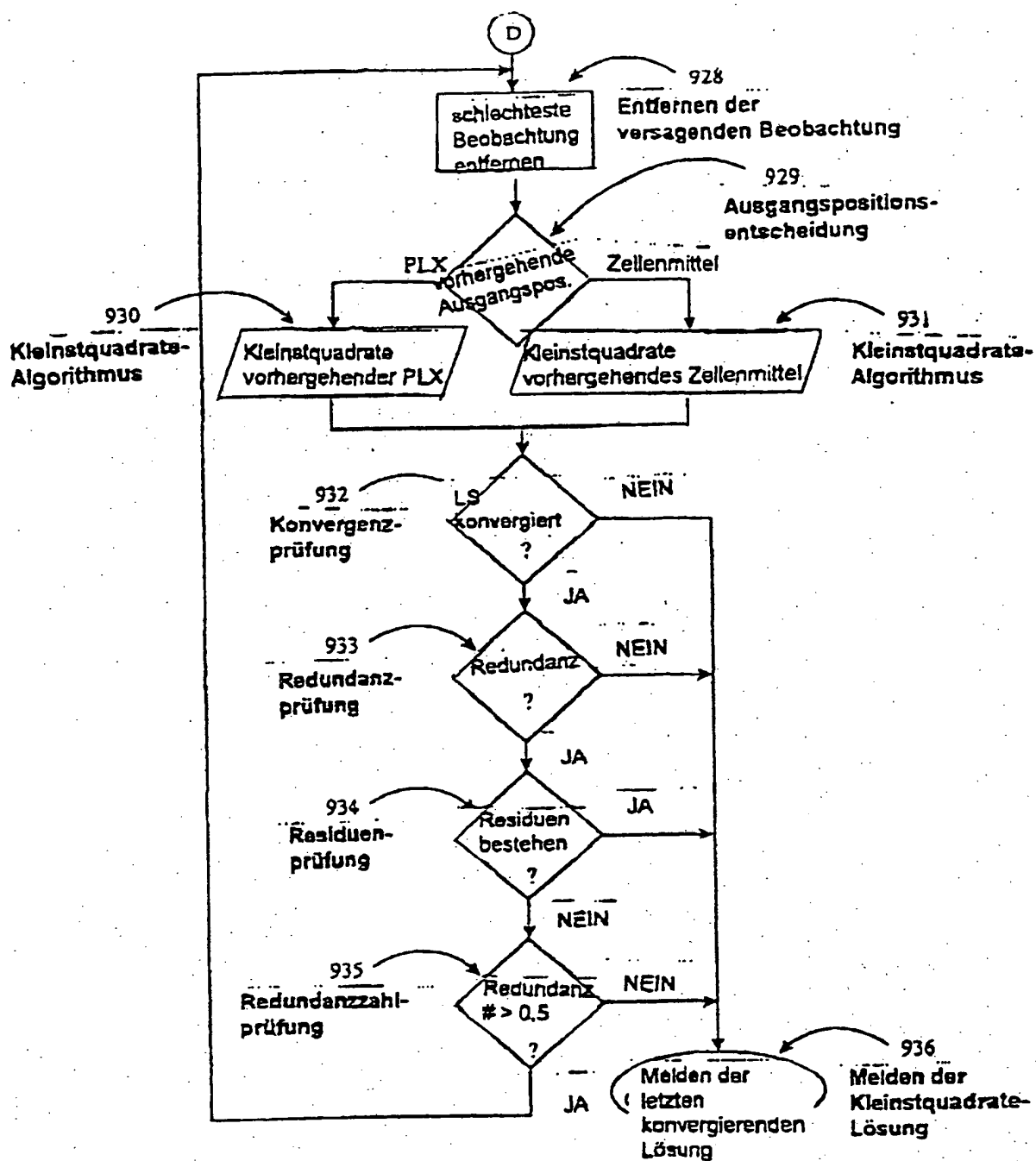


Fig. 9d



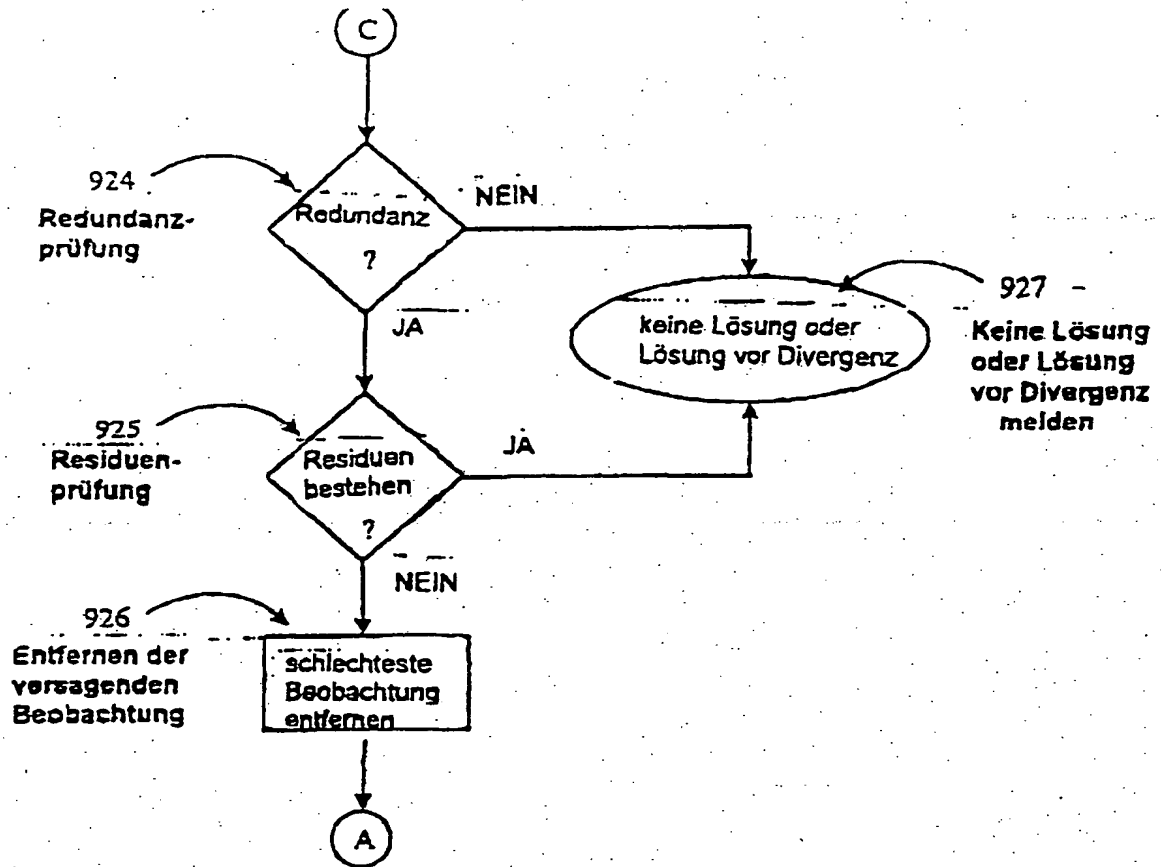


Fig. 9c

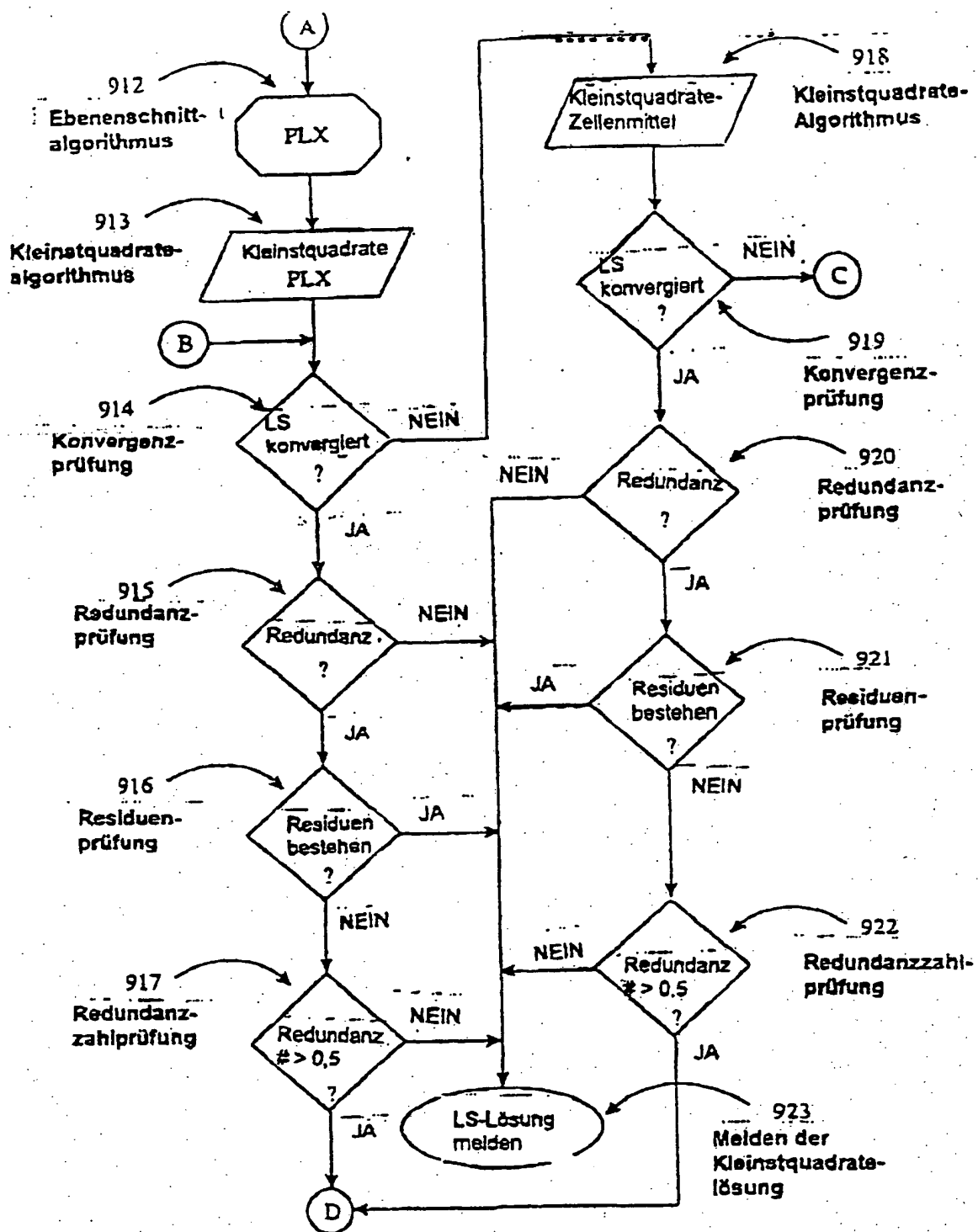


Fig. 9b

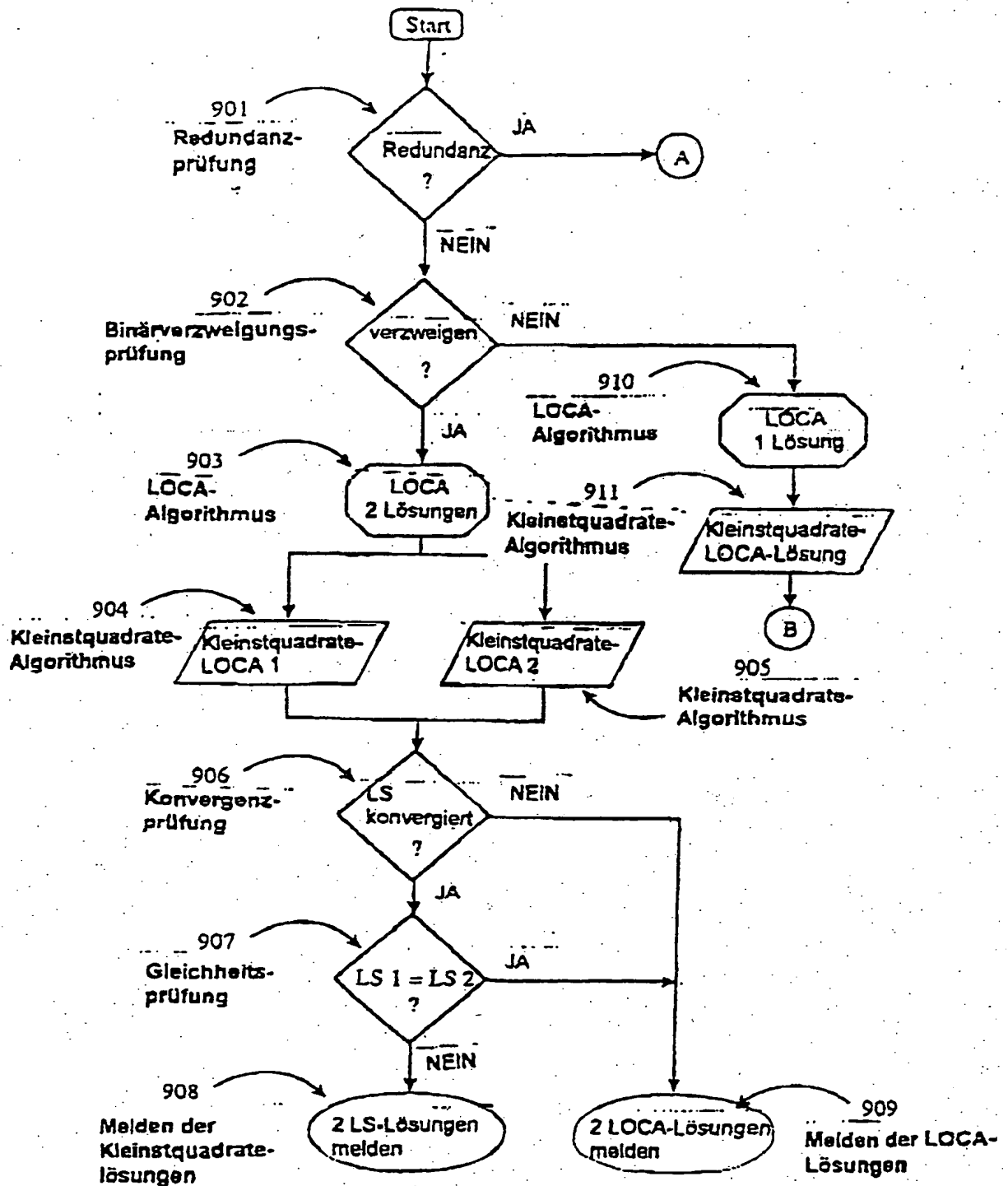
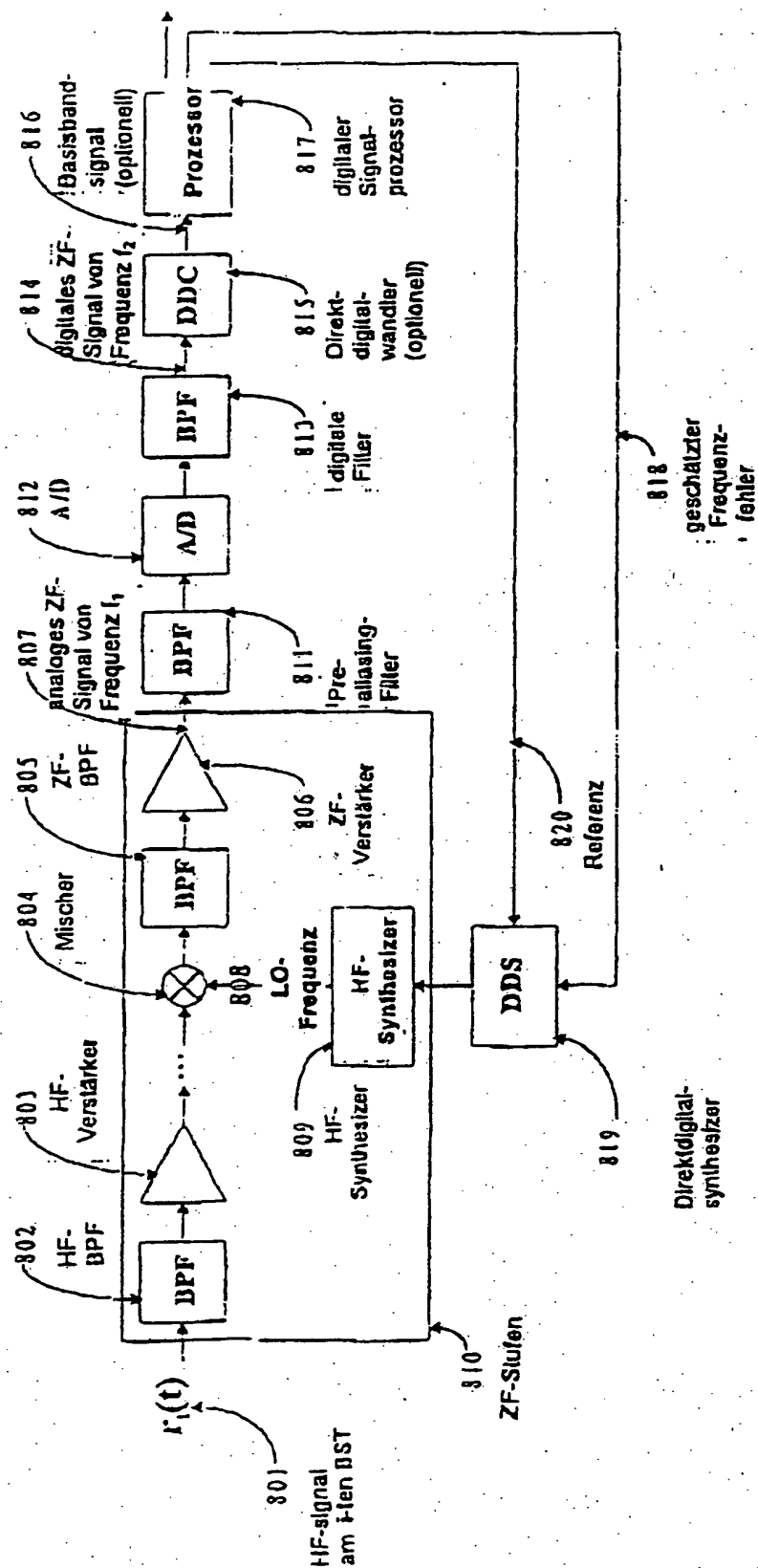


Fig. 9a



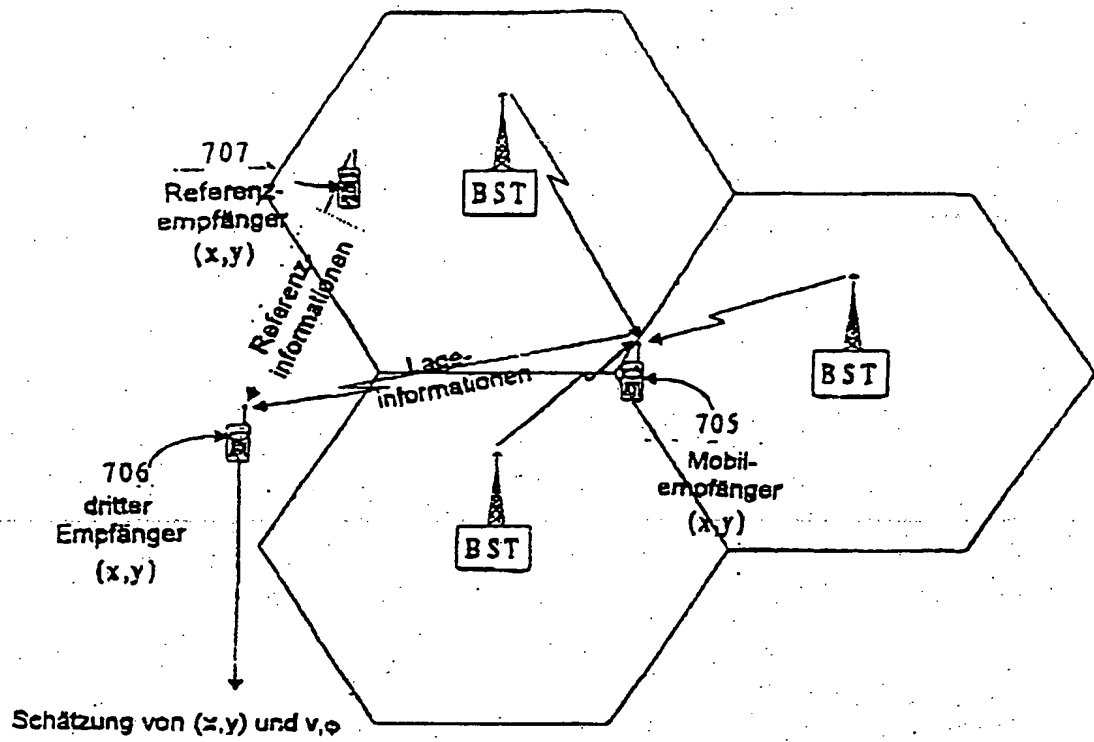


Fig. 7c

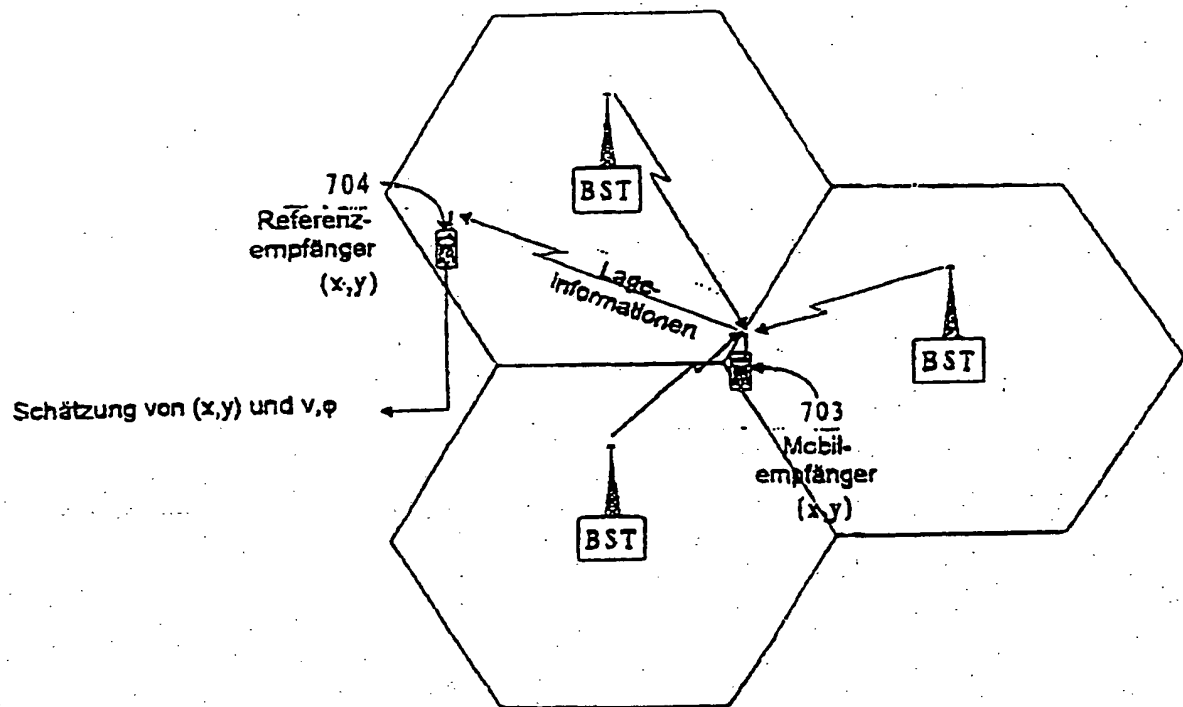


Fig. 7b

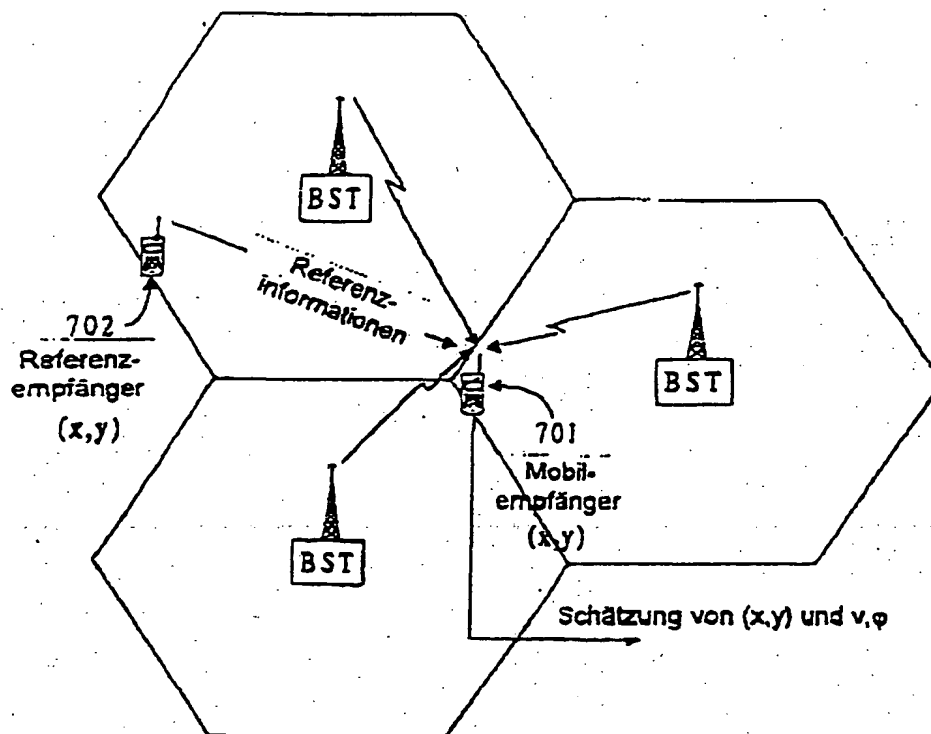


Fig. 7a

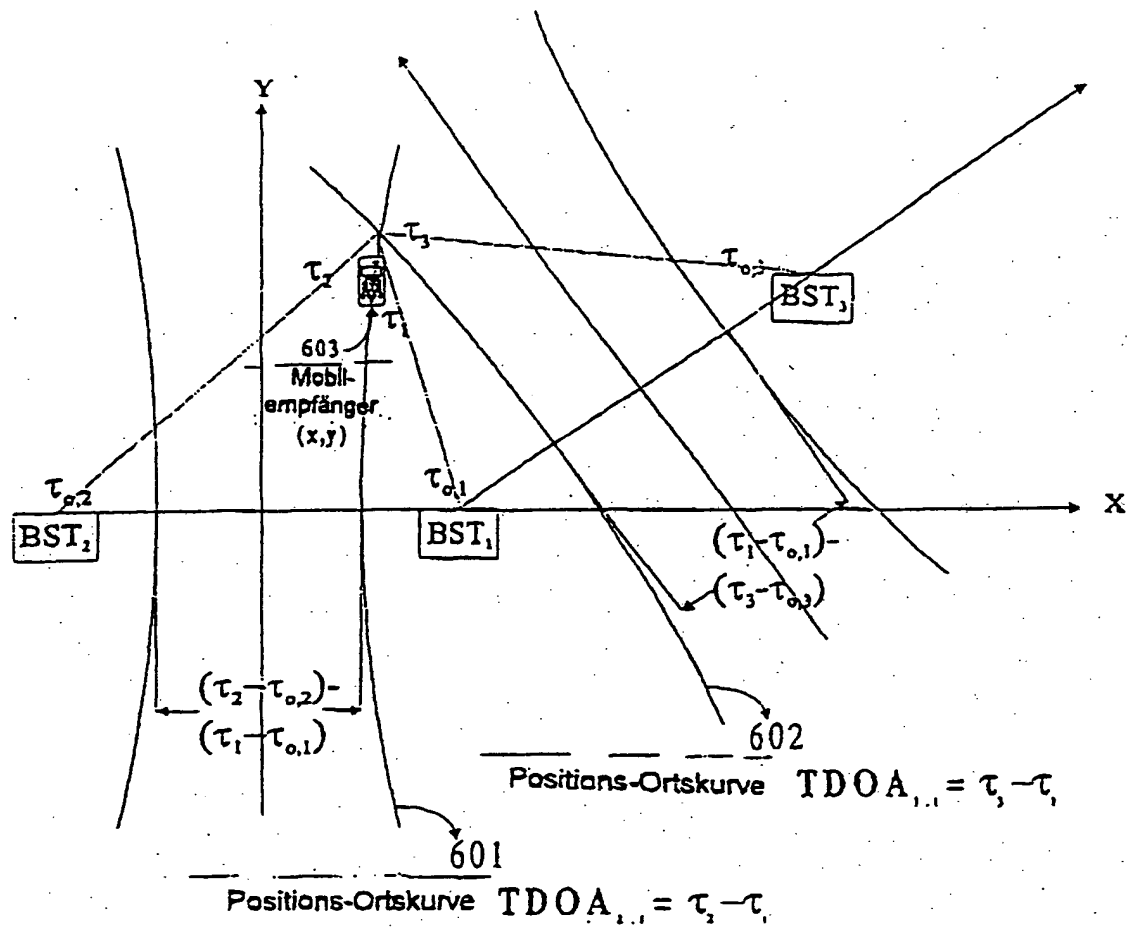


Fig. 6



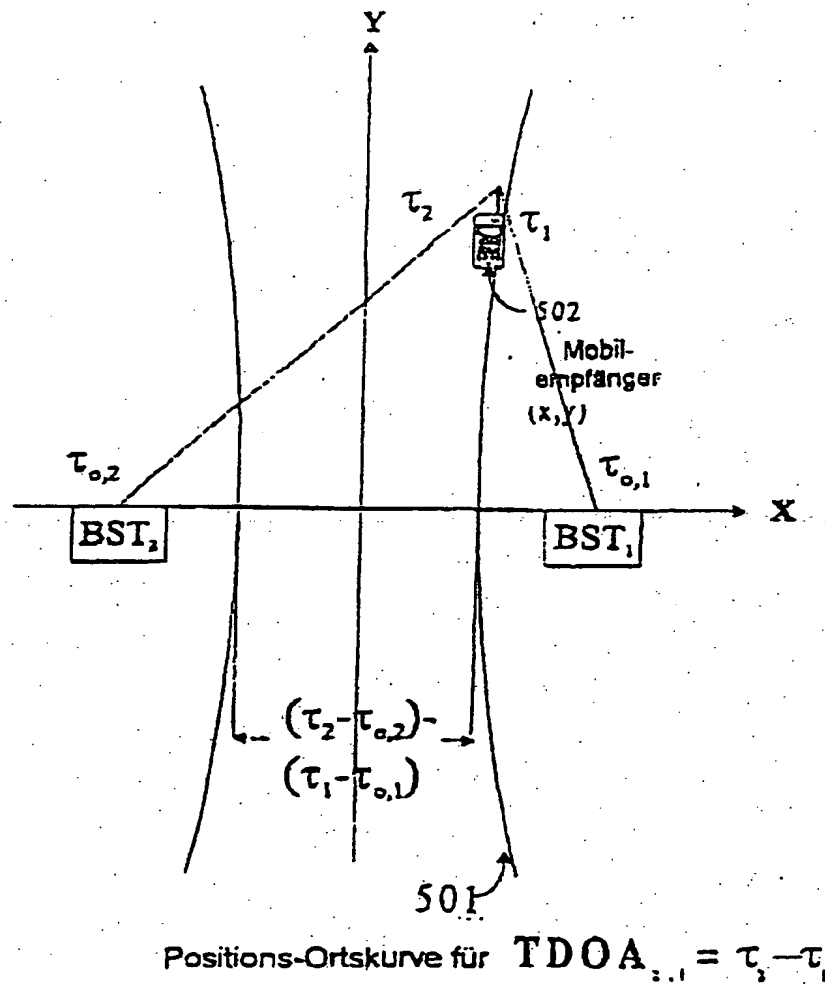


Fig. 5

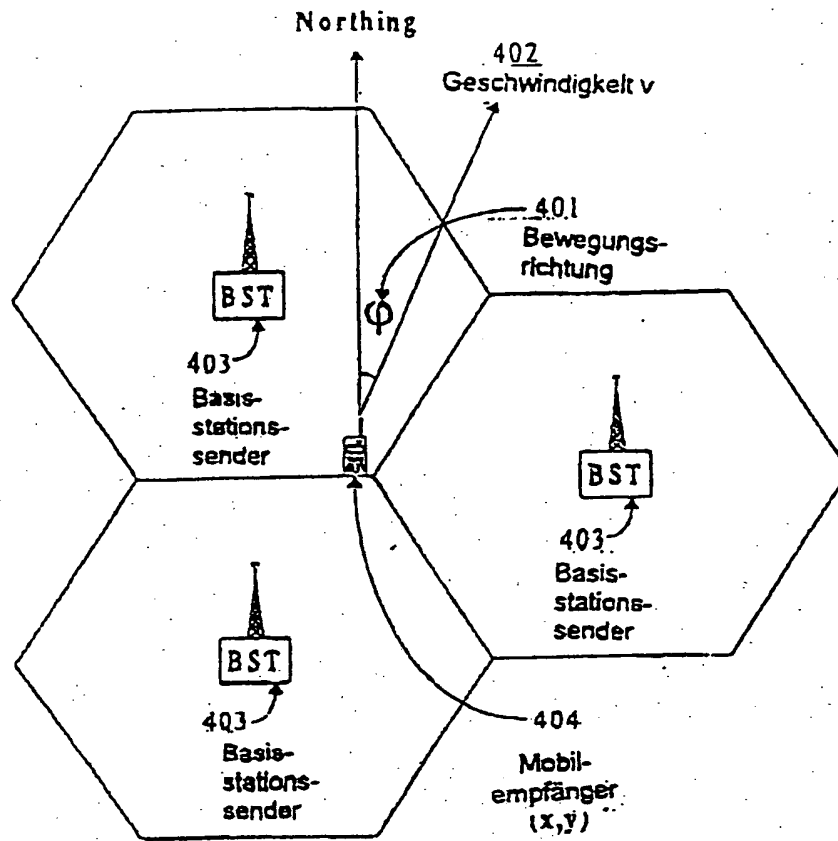


Fig. 4

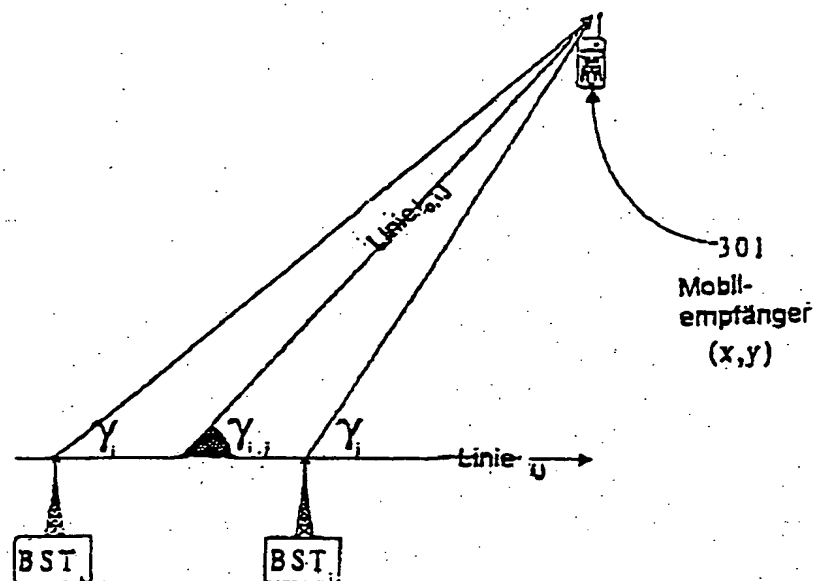


Fig. 3

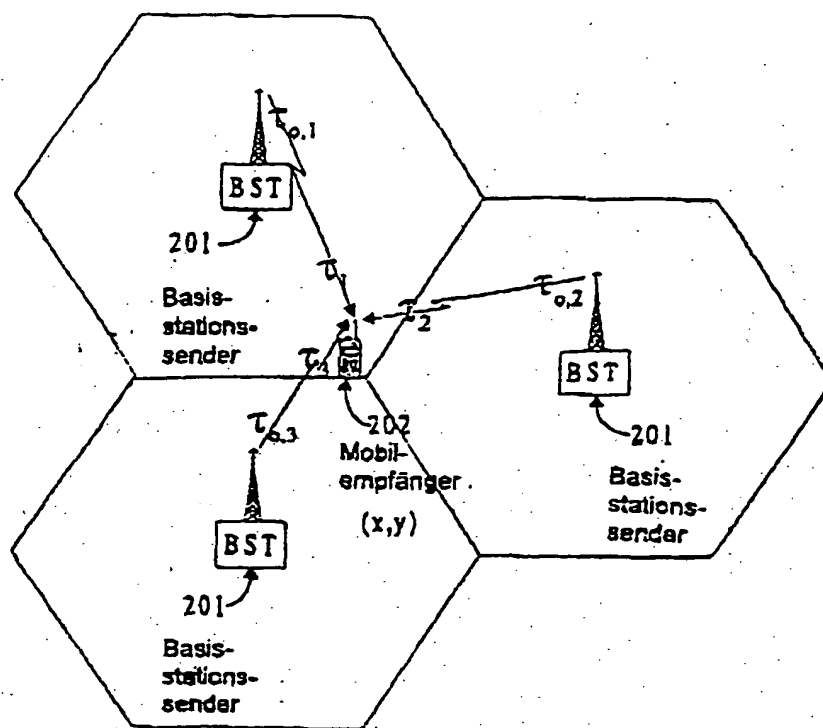


Fig. 2

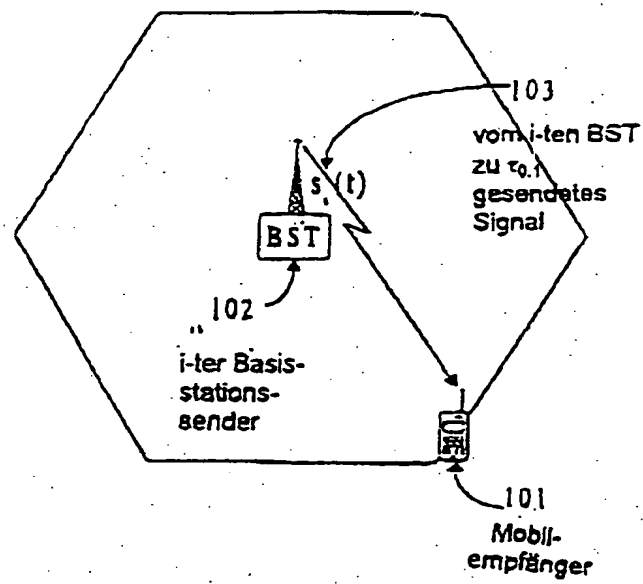


Fig. 1

- Leerseite -

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

